

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**



**“DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS  
PARA EL CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA DE LA EMPRESA  
CENTRO INDUSTRIAL Y COMERCIAL PORCINO SAC DE  
HUARAL, AÑO 2021”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
EN ENERGÍA**

**CHATE MALLQUI, WILFREDO  
ZEVALLOS VILLAYZÁN, WINER HERNÁN**

**Callao, 2021  
PERÚ**

A handwritten signature in blue ink, likely belonging to Wilfredo Chate Mallqui.

A handwritten signature in blue ink, likely belonging to Winer Hernán Zevallos Villayzán.

A handwritten signature in blue ink, likely belonging to Winer Hernán Zevallos Villayzán.

## HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO

<b>Dr. Juan Manuel Palomino Correa</b>	<b>: Presidente</b>
<b>Mg. Carlos Zacarías Díaz Cabrera</b>	<b>: Secretario</b>
<b>Mg. Vladimiro Contreras Tito</b>	<b>: Miembro</b>
<b>Dr. Napoleón Jauregui Nongrados</b>	<b>: Asesor</b>

**“DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS  
PARA EL CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA DE LA EMPRESA  
CENTRO INDUSTRIAL Y COMERCIAL PORCINO SAC DE  
HUARAL, AÑO 2021”**

## **DEDICATORIA**

Dedico esta investigación especialmente a mi madre, a mi padre y a mi hermano por comprender la manera de invertir mi tiempo para el desarrollo de la misma, así como a mi alma mater, la Universidad Nacional del Callao, de donde recogí muchos conocimientos y experiencias de los profesores, autoridades, personal en general y sobre todo a mis compañeros de aula.

Winer H. Zevallos V.

Es mi deseo como gesto dedicarles mi investigación a mis padres por sus consejos y esfuerzo quienes permanentemente me apoyaron con espíritu alentador, este logro es gracias a ellos; dedicar también a mis hermanos por apoyarnos mutuamente de forma incondicional a lograr nuestras metas y objetivos propuestos.

Wilfredo Chate M.

## **AGRADECIMIENTO**

Ante todo, agradecemos a Dios por brindarnos las herramientas necesarias en el día a día. Agradecemos, también, al señor Pedro Casas y todos los colaboradores de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral, por el apoyo al permitirnos llevar a cabo la presente investigación en sus instalaciones.

Agradecemos a nuestro asesor Dr. Napoleon Jauregui Nongrados por su tiempo y comprensión, en poder apoyarnos en nuestra presente investigación.

## ÍNDICE

ÍNDICE	1
ÍNDICE DE TABLAS	4
TABLA DE FIGURAS	6
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
INTRODUCCIÓN	10
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.1 Descripción de la realidad problemática .....	12
1.2 Formulación del problema.....	14
1.2.1 Problema general	14
1.2.2 Problemas específicos	14
1.3 Objetivos .....	15
1.3.1 Objetivo general	15
1.3.2 Objetivos específicos	15
1.4 Limitantes de la investigación .....	15
1.4.1 Teórico	15
1.4.2 Temporal	16
1.4.3 Espacial	17
II. MARCO TEÓRICO	18
2.1 Antecedentes .....	18
2.1.1 Antecedentes Internacionales	18
2.1.2 Antecedentes Nacionales	20
2.2 Bases teóricas .....	22
2.2.1 Conservación de masa sin reacción química	22
2.2.2 Principios para las líneas de distribución de biogás	22
2.3 Conceptual.....	29
2.3.1 La energía térmica	29
2.3.2 La biomasa	30
2.3.3 Aprovechamiento de los desechos	31
2.3.4 Planta de producción de biogás	33

2.3.5	El biogás y bases de la biodigestión	34
2.3.6	Conceptualización de los componentes principales de una planta de biogás	42
2.3.7	El biol	70
2.4	Definición de términos básicos	70
III.	HIPÓTESIS Y VARIABLES	78
3.1	Hipótesis	78
3.1.1	Hipótesis General	78
3.1.2	Hipótesis Especificas	78
3.2	Definición conceptual de variables	79
3.2.1	Operacionalización de variables	80
IV.	DISEÑO METODOLÓGICO	84
4.1	Tipo y diseño de investigación	84
4.2	Método de investigación	84
4.3	Población y muestra	85
4.4	Lugar de estudio	86
4.5	Técnicas e instrumentos de recolección de información	87
4.6	Análisis y procesamiento de datos	94
V.	RESULTADOS	176
5.1	Determinación de las características físicas y químicas de los purines de cerdo	176
5.2	Determinación del actual consumo de energía térmica y el volumen de biogás equivalente	178
5.2.1	Consumo de energía térmica	178
5.2.2	Volumen de biogás	178
5.3	Definición del diseño de la planta para la producción de biogás	180
5.4	Validación del diseño de la planta de producción de biogás mediante el programa Biodigestor-PRO versión 3.0	182
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	188
6.1	Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados	188
6.1.1	Contrastación del informe del análisis físico-químico del laboratorio	188

6.1.2	Contrastación del consumo térmico con la cantidad de biogás generados por el purín de cerdo	189
6.1.3	Contrastación del tipo de biodigestor seleccionado para la producción de biogás	190
6.1.4	Contrastación del cálculo a base de programa BIODigestor – PRO versión 3.0	191
6.2	Contrastación de los resultados con otros estudios similares.....	191
6.3	Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes.....	194
VII.	CONCLUSIONES	195
VIII.	RECOMENDACIONES	197
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	198
	ANEXOS	216
	ANEXO A. MATRIZ DE CONSISTENCIA	218

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Valores recomendados de rugosidad para conductos comerciales .....	24
<b>Tabla 2.</b> Propiedades físicas del Gas Licuado de Petróleo .....	30
<b>Tabla 3.</b> Producción de purines fresco diario por tipo de animal.....	32
<b>Tabla 4.</b> Peso promedio de cada categoría del cerdo .....	32
<b>Tabla 5:</b> Composición química del biogás.....	35
<b>Tabla 6.</b> TRH para estiércol con temperatura ambiente entre 20 °C a 40 °C (referencial).....	39
<b>Tabla 7.</b> Características de un biodigestor de domo flotante tipo hindú.....	45
<b>Tabla 8.</b> Características de un biodigestor de domo fijo tipo chino .....	46
<b>Tabla 9.</b> Características de un biodigestor de estructura flexible .....	47
<b>Tabla 10.</b> Características de un biodigestor de estructura rígida y gasómetro externo	48
<b>Tabla 11.</b> Características de un biodigestor de flujo inducido, estructura rígida y gasómetro flexible .....	50
<b>Tabla 12:</b> Especificaciones técnicas de la construcción de biodigestores tipo laguna cubierta. ....	54
<b>Tabla 13.</b> Ventajas y desventajas de los quemadores abiertos y cerrados.....	60
<b>Tabla 14.</b> Especificaciones técnicas mínimas consideradas en la selección de geomembrana .....	67
<b>Tabla 15:</b> Composiciones Típicas de los Biol de primera (I-G) y Segunda Generación (II-G).....	72
<b>Tabla 16:</b> Relación de masa seca y masa volátil de acuerdo al tipo de animal .....	76
<b>Tabla 17:</b> Operacionalización de variables.....	81
<b>Tabla 18.</b> Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	87
<b>Tabla 19.</b> Métodos usados para los ensayos de laboratorio .....	90
<b>Tabla 20.</b> Uso y consumo de energía de la empresa .....	97
<b>Tabla 21.</b> Máximas temperatura óptima del recinto (°C) por cada área .....	97
<b>Tabla 22.</b> Temperatura promedio por estaciones y aumento de temperatura necesario para acondicionamiento de áreas de recría y maternidad (°C).....	98
<b>Tabla 23.</b> Máxima variación de temperatura y consumo de balones de GLP por semana para estaciones cálidas y frías .....	101
<b>Tabla 24.</b> Masa de GLP y energía requerida por día por áreas y estaciones .....	102
<b>Tabla 25.</b> Temperatura de la ciudad de Huaral (°C).....	111
<b>Tabla 26.</b> Tabulación de datos en función del diámetro y la altura. ....	122
<b>Tabla 27.</b> Dimensiones de la laguna del biodigestor .....	124
<b>Tabla 28.</b> Dimensiones de la laguna de descarga para el biol .....	136
<b>Tabla 29.</b> Longitudes, accesorios y válvulas de los tramos en el esquema del biogás .....	146
<b>Tabla 30.</b> Determinación del diámetro, la caída de presión y otras características por tramos .....	152
<b>Tabla 31:</b> Selección filtro sulfuro de hidrogeno .....	157
<b>Tabla 32:</b> Selección del quemador para el biogás .....	158
<b>Tabla 33:</b> Selección del modelo de condensador de agua del biogás. ....	162
<b>Tabla 34.</b> Pérdidas de cargas primarias y secundarias en la tubería de lodos .....	171
<b>Tabla 35.</b> Análisis termogravimétrico-TGA (Proximal).....	176

<b>Tabla 36.</b> Análisis del poder Calorífico. ....	176
<b>Tabla 37.</b> Análisis elemental (C, H, N, O, S). ....	177
<b>Tabla 38.</b> Análisis de parámetros fisicoquímicos.....	177
<b>Tabla 39.</b> Consumo de energía térmica por áreas y por estaciones en la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral. ....	178
<b>Tabla 40.</b> Volumen de biogás requerido (m <sup>3</sup> /día) por cada estación.....	178
<b>Tabla 41.</b> Volumen y energía de biogás requerida, producida y diferencia.....	179
<b>Tabla 42.</b> Masa y balones de GLP necesarios para terminar de cubrir la demanda de energía térmica .....	179
<b>Tabla 43.</b> Parámetros para cálculo del volumen del biodigestor .....	180
<b>Tabla 44.</b> Dimensiones del biodigestor tipo laguna cubierta .....	180
<b>Tabla 45.</b> Dimensiones calculadas para el tanque de alimentación.....	180
<b>Tabla 46.</b> Dimensiones calculadas para la laguna de descarga del biol. ....	180
<b>Tabla 47.</b> Dimensiones calculadas del lecho de secado de lodos .....	181
<b>Tabla 48.</b> Comparativa de parámetros de los cálculos realizados con los resultados de programa biodigestor-PRO versión 3.0.....	182
<b>Tabla 49.</b> Comparación de resultados entre lo calculado y el programa biodigestor- PRO versión 3.0, para las dimensiones del biodigestor .....	183
<b>Tabla 50.</b> Comparación de resultados entre lo calculado y el programa biodigestor- PRO versión 3.0 para el tanque de alimentación.....	185
<b>Tabla 51.</b> Comparación de resultados entre lo calculado y el programa biodigestor- PRO versión 3.0 para la descarga del biol.....	185
<b>Tabla 52.</b> Comparación de resultados entre lo calculado y el programa biodigestor- PRO versión 3.0 para el lecho de secado de lodos. ....	186

## TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución porcentual de emisiones netas por sectores en el Inventario Nacional de GEI 2016 .....	12
Figura 2. Distribución de emisiones de GEI por subcategorías del sector Agricultura, 2016 .....	13
Figura 3. Resistencia de codos, accesorios y válvulas para gas natural expresada en Longitud Equivalente de tubería recta en metros. ....	26
Figura 4. Coeficiente de pérdida (K) para expansión brusca. ....	27
Figura 5. Coeficiente de pérdida (K) para contracción brusca. ....	27
Figura 6. Producción de biogás en función de la temperatura. ....	38
Figura 7. Energía comparada del biogás y otros combustibles. ....	42
Figura 8. Biodigestor de domo flotante, tipo hindú. ....	45
Figura 9. Biodigestor de domo fijo, tipo chino. ....	46
Figura 10. Biodigestor de estructura flexible. ....	47
Figura 11. Biodigestor de estructura rígida y gasómetro externo. ....	49
Figura 12. Biodigestor de flujo inducido, estructura rígida y gasómetro flexible. ....	50
Figura 13. Biodigestor tipo laguna cubierta. ....	51
Figura 14. Área de la sección de la cúpula del biodigestor. ....	53
Figura 15. Biodigestor tipo laguna cubierta. ....	55
Figura 16. Sistema de agitación. ....	56
Figura 17. Válvula de seguridad de referencia. ....	58
Figura 18. Tipos de quemadores: a) Cerrado, b) Semicerrado o híbrido, c) Abierto. ...	60
Figura 19. Gasómetro con membrana y peso muerto/lastre. ....	62
Figura 20. Depósito de biogás no presurizado. ....	62
Figura 21. Gasómetro con tubos inflables (con lastre). ....	63
Figura 22. Tanque de biogás con membrana doble sometida a aire comprimido. ....	63
Figura 23. Partes de un gasómetro de membrana doble. ....	64
Figura 24: Medidor de gas MX6 Ibrid. ....	69
Figura 25: Filtro de Sulfuro de Hidrógeno. ....	70
Figura 26: Procesos de la digestión anaeróbica. ....	73
Figura 27. Ubicación geográfica de la empresa Centro Industrial y Comercial Porcino S.A.C. – Toma de acceso. ....	86
Figura 28. Ubicación geográfica de la empresa Centro Industrial y Comercial Porcino S.A.C. – Toma de relieves. ....	87
Figura 29. Plano de señalización/Mapa de riesgo de la empresa. ....	89
Figura 30. Matriz de observación para definir el diseño de una planta de producción de biogás para la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral. ....	91
Figura 31. Cuestionario para el diseño de la planta de biogás. ....	93
Figura 32. Recolección de la muestra de purines de cerdo en la planta de Huaral. ....	95
Figura 33. Muestra de purines de cerdo en el laboratorio para su posterior análisis. ...	96
Figura 34. Aumento de temperatura necesario para acondicionamiento de áreas de recría y maternidad. ....	98
Figura 35: Diagrama general del proceso de producción de biogás. ....	106
Figura 36. Temperatura durante el año 2017 en la ciudad de Huaral. ....	112
Figura 37. Temperatura durante el año 2018 en la ciudad de Huaral. ....	113

Figura 38. Temperatura durante el año 2019 en la ciudad de Huaral. ....	114
Figura 39. Historial de temperaturas durante los años 2017, 2018 y 2019 en la ciudad de Huaral. ....	115
Figura 40. Dimensiones de la laguna del biodigestor (m). ....	125
Figura 41. Dimensiones de la cúpula del biodigestor (en metros). ....	127
Figura 42. Representación del ángulo $\alpha$ . ....	128
Figura 43. Vista isométrica que muestra las caras laterales de laguna del biodigestor. ....	130
Figura 44. Detalle de la geomembrana para anclaje. ....	132
Figura 45. Vistas principales del biodigestor tipo laguna. ....	134
Figura 46. Vistas principales laguna de descarga del biol. ....	137
Figura 47. Tubos Pead bajo la norma ISO 4427, PE 100. ....	141
Figura 48. Esquema de la red de tuberías de biogás. ....	145
Figura 49. Modelos de filtro de ácido sulfúrico. ....	157
Figura 50. Caso de quemador abierto instalado. ....	159
Figura 51. Vapor de agua vs Temperatura. ....	161
Figura 52. Condensador para biogás. ....	163
Figura 53. Tren de calibración instalado con el soplador para biogás. ....	164
Figura 54. Diagrama de los componentes para un tren de calibración. ....	164
Figura 55: Curvas de desempeño de los sopladores de canal lateral de biogás. ....	166
Figura 56: Soplador para biogás de canal lateral. ....	167
Figura 57. Esquema de bombeo para el lodo. ....	169
Figura 58. Ingreso de datos por tipo de animal y resultado obtenidos. ....	172
Figura 59. Ingreso de datos para la selección del tipo de biodigestor. ....	173
Figura 60. Resultado de la propuesta de biodigestor de implementación y componentes auxiliares. ....	173
Figura 61. Resultado del esquema de alimentación y descarga. ....	174
Figura 62. Tubería de alimentación y descarga. ....	174
Figura 63. Sistema de agitación. ....	174
Figura 64. Esquema de tubería para la captación del biogás. ....	175
Figura 65. Comparativa de parámetros de los cálculos realizados con los resultados de programa biodigestor-PRO versión 3.0. ....	183
Figura 66. Comparación de resultados entre lo calculado y el programa biodigestor-PRO versión 3.0, para las dimensiones del biodigestor. ....	184
Figura 67. Diferencia de resultados entre lo calculado y el software para el volumen del biodigestor tipo laguna cubierta. ....	184
Figura 68. Comparación de resultados entre lo calculado y el programa biodigestor-PRO versión 3.0 para el tanque de alimentación. ....	185
Figura 69. Comparación de resultados entre lo calculado y el programa biodigestor-PRO versión 3.0 para la descarga del biol. ....	186
Figura 70. Comparación de resultados entre lo calculado y el programa biodigestor-PRO versión 3.0 para el lecho de secado de lodos. ....	187

## RESUMEN

Esta investigación del tipo aplicada mediante un diseño cuantitativo y con un método deductivo-analítico, buscó diseñar una planta de producción de biogás para el consumo de energía térmica en la empresa “Centro industrial y comercial porcino SAC” de Huaral. Para lo cual se recogieron muestras de purines para ser analizadas en el laboratorio, se hizo un relevamiento de campo, apoyado de un cuestionario y checklist y se realizó el dimensionamiento, el cual fue validado.

Del análisis de laboratorio resultó que los parámetros de los purines de cerdo cuentan con valores aceptables:  $pH = 6,27$ , relación  $C/N = 15,24$ , cantidad de sólidos 3,06 %, entre otros. El biogás equivalente requerido por la empresa fue 211,81 m<sup>3</sup>/día en estaciones cálidas y 263,93 m<sup>3</sup>/día en estaciones frías. La cantidad de purines producidos fue 2280 kg/día, por tanto, se diseñó un biodigestor tipo laguna cubierta de 221 m<sup>3</sup>, la producción de biogás fue 186,21 m<sup>3</sup>/día, con tanque de alimentación de 6,35 m<sup>3</sup>, tanque de descarga de 18,91 m<sup>3</sup> y lecho de secado de 3,2 m<sup>3</sup>, asimismo, se determinaron las dimensiones de estos componentes que fueron validados con el programa Biodigestor-PRO versión 3.0. Por otro lado, el biogás fue tomado en 6 puntos con tuberías de polietileno de 25 mm. La planta diseñada cuenta con un sistema de agitación, tratamiento y almacenamiento del biogás.

Finalmente se concluye que lo diseñado permite ahorrar 1163,8 kWh/día de energía en beneficio de la empresa y se producen 18,84 m<sup>3</sup> de biol y 195,7 kg de biosol por día.

**PALABRAS CLAVE:** planta, producción de biogás, energía térmica, purines de cerdo, biodigestor, laguna cubierta, Huaral

## ABSTRACT

This applied type research by means of a quantitative design and with a deductive-analytical method, sought to design a biogas production plant for the thermal energy consumption of the company "Centro industrial y comercial porcino SAC" de Huaral. For which slurry samples were collected to be analyzed in the laboratory, a field survey was carried out, supported by a questionnaire and checklist, and sizing was carried out, which was validated.

From the laboratory analysis it turned out that the parameters of the pig slurry have acceptable values:  $pH = 6,27$ ,  $C/N = 15,24$ , 3,06% solids mass, among others. The equivalent biogas required by the company was 211,81 m<sup>3</sup>/day in warm seasons and 263,93 m<sup>3</sup>/day in cold seasons. The amount of slurry produced was 2280 kg/day, therefore, a 221 m<sup>3</sup> covered lagoon type biodigester was designed, the biogas production was 186,21 m<sup>3</sup>/day, with a 6,35 m<sup>3</sup> feed tank, discharge tank of 18,91 m<sup>3</sup> and 3,2 m<sup>3</sup> of sludge treatment container, likewise, the dimensions of these components were determined, which were validated with the Biodigestor-PRO version 3.0 program. On the other hand, the biogas is taken by 6 points with 25 mm polyethylene pipes. The designed plant has a biogas agitation, treatment and storage system.

Finally, it is concluded that the design allows to put away 1165 kWh/día of energy for the benefit of the company and the plant produce 18,84 m<sup>3</sup> of biol and 195,7 kg of biosol are produced per day.

**KEY WORDS:** plant, biogas production, thermal energy, pig slurry, biodigester, covered lagoon

## INTRODUCCIÓN

En la investigación se propone el diseño de un biodigestor tipo laguna cubierta en las instalaciones de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC, dedicado a la crianza de cerdos. En la actualidad la empresa no cuenta con el medio adecuado para tratar los purines de cerdo que se generan a diario, provocando, de esta manera, un problema medioambiental.

La finalidad de instalar un biodigestor tipo laguna cubierta es generar energía a base del biogás obtenido de los purines de cerdo que se usará de manera interna para los equipos térmicos y a la vez, contribuir en la mitigación de la contaminación ambiental.

Si bien es cierto este tipo de tecnología ya se viene desarrollando desde años anteriores, actualmente, a nivel nacional, se tiene poco avance sobre este tipo de fuentes de energía, a pesar del alto potencial con el que se cuenta. Asimismo, esta investigación fue desarrollado a base de fuentes bibliográficas, papers, tesis, entre otros, debido a que no se cuenta con normativa y/o reglamento nacional para el diseño de biodigestores tipo laguna.

Esta investigación se desarrolla en los siguientes capítulos:

En el Capítulo I, se da un contexto internacional y nacional del problema que está generando la industria ganadera estabulada y cómo está afectando a la contaminación de la atmósfera debido a las emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero), que destruye la capa de ozono; Esta investigación se desarrolla en la empresa Centro Industrial y Comercial Porcino SAC, dedicada a la crianza de cerdos; en sus instalaciones se generan como efluentes la mezcla de agua con gran cantidad purines de cerdo. Esta situación nos lleva a preguntarnos ¿Cómo diseñar un sistema que ayude a la reutilización de los efluentes de la empresa Centro Industrial y Comercial Porcino SAC de la ciudad de Huaral? Generándose, de esta manera, la idea de diseñar una planta de producción de

biogás para el consumo de energía térmica de la empresa Centro Industrial y Comercial Porcino SAC de Huaral, así como superar los problemas específicos presentados. En este mismo capítulo se encontrará la justificación de esta investigación seguido de las limitantes de la misma, enfocados en el aspecto teórico, temporal y espacial.

En el Capítulo II, respecto a los antecedentes, se han considerado papers, tesis, y proyectos desarrollados en México, Colombia, Chile (como antecedentes internacionales) y en San Martín, Lambayeque y Tacna (como antecedentes nacionales).

En las bases teóricas se consideraron los principios de conservación de masa y principios de mecánica de fluidos, los cuales son las bases teóricas fundamentales de esta investigación, asimismo, se considera las definiciones de los términos más usuales y los requisitos y aspectos claves a considerar para un adecuado dimensionamiento y una óptima generación de biogás acorde a la bibliografía revisada.

En el Capítulo III, tanto las hipótesis, como las variables fueron formuladas en base a los problemas y objetivos. En cuanto a la operacionalización de variables, se detectaron cuatro (04) dimensiones y diecinueve (19) indicadores.

En el Capítulo IV, se establece que la presente investigación es de tipo aplicado, con diseño de tipo cuantitativo, el cual presenta un método deductivo-analítico. Para la población de nuestra investigación se tomaron 03 muestras de purines generados al día de los tres galpones más grandes de la granja, los cuales fueron mezclados. Con un peso representativo de 150 gramos se llevó a cabo el análisis para determinar las propiedades físicas y químicas requeridas, este proceso fue hecho en el laboratorio de Energía Renovables de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

## I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Descripción de la realidad problemática

Según Viñas (s.f.), la producción de residuos procedentes del ganado es uno de los más abundantes e importantes en el mundo, además de ser uno de los que cuentan con gran potencial contaminante, esta situación se agrava por la crianza de animales estabulados con fines industriales, debido al gran número de cabezas. Sin embargo, estos residuos son una fuente de materia orgánica con poder energético elevado, lo que hace que sea posible su aprovechamiento en la transformación en metano, principal componente del biogás.

Según el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del año 2016, publicado por el Ministerio del Ambiente (2021), el sector agricultura representa el 12,62% de las emisiones netas de Gases de Efecto Invernadero (GEI), ocupando la tercera posición en esta problemática.

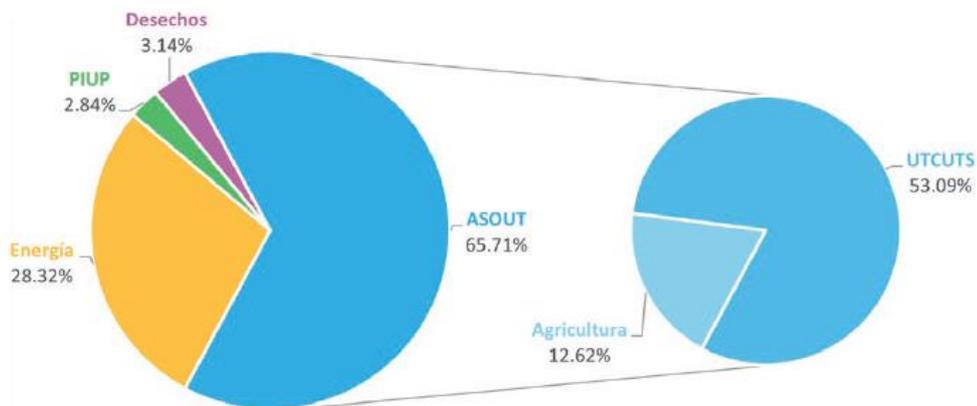


Figura 1. Distribución porcentual de emisiones netas por sectores en el Inventario Nacional de GEI 2016

Fuente: Ministerio del Ambiente (2021)

Asimismo, los subsectores fermentación entérica y manejo de estiércol en las ganaderías representan el 46,64% de las emisiones de GEI del sector agricultura.

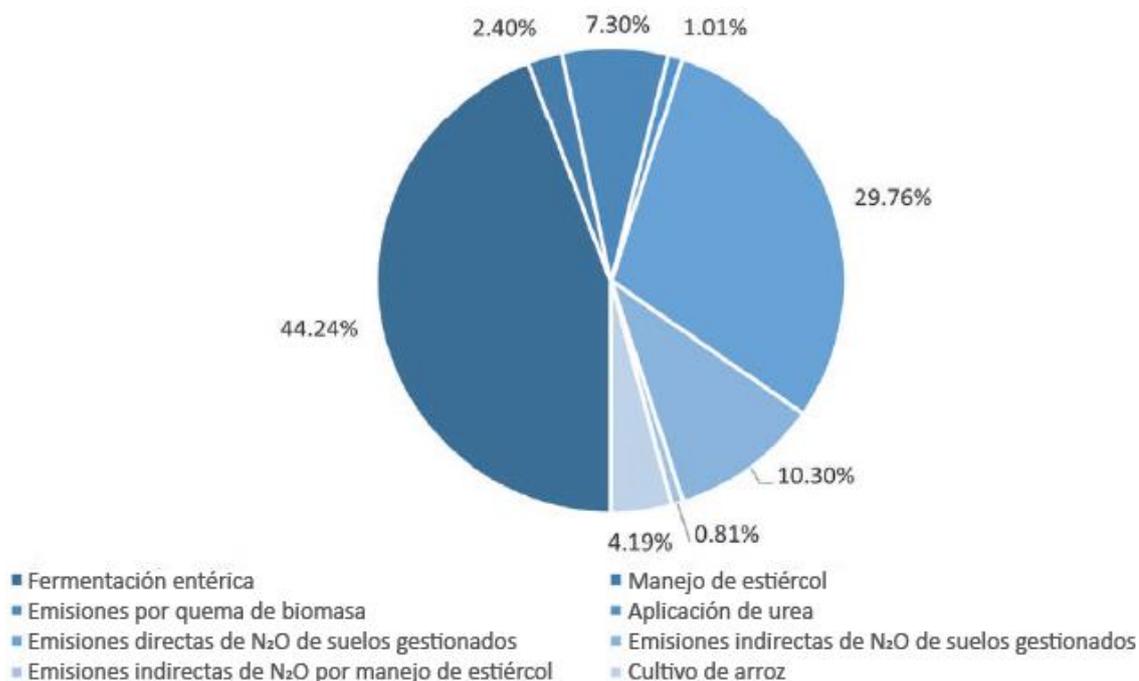


Figura 2. Distribución de emisiones de GEI por subcategorías del sector Agricultura, 2016

Fuente: DGAAA-MIDAGRI (2020)

Según Aqualimpia (2017), los biodigestores aportan en la descontaminación, ya que transforman estos desechos orgánicos convirtiéndolos en subproductos útiles como el biogás y el bioabono. Los biodigestores tienen una función ecológica, ya que reciclan los residuos orgánicos a un costo relativamente bajo, además de proteger el suelo, las fuentes acuíferas, el aire y la atmósfera, reduciendo de esta manera el efecto invernadero que producen estos residuos cuando son vertidos descontroladamente en el medio ambiente.

En el Fundo la Quincha, Mz. 66 Lt. "A", ex hacienda, en la ciudad de Huaral, provincia del mismo nombre, se ubica la empresa Centro Industrial y Comercial Porcino S.A.C. - CICOPSAC, dedicada a la crianza de cerdos de ciclo completo o cerrado de considerable envergadura, para la presente investigación se consideró solo una parte del total de animales, esta consiste de 600 marranas, que son fuente de generación de gran cantidad de purines al día; esta cantidad de residuos mediante mezcla con el agua para la limpieza de los galpones son vertidos sin tratamiento en campos de cultivo de tallo corto, del cual se desconoce su impacto, esto a la aceptación de los agricultores de la zona porque

creen que es un abono que beneficia su actividad. Asimismo, la empresa en mención invierte en gas licuado de petróleo para su consumo de energía térmica, esto es para calefacción de lechones recién nacidos, lavado de cerdos sacrificados y para la preparación de alimentos del personal que trabaja en ella.

De continuar esta actividad del uso inadecuado de los purines de cerdo conforme se ha descrito, es de esperar un daño significativo al ambiente y a la salud del hombre y la empresa desconoce cómo aprovechar estos purines, por lo que es necesario tener en cuenta un procedimiento para su correcta disposición.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿En qué medida el diseño de una planta de producción de biogás permitirá el consumo de energía térmica para la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral, en el año 2021?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- ¿Cuáles son las características físicas y químicas de los purines de cerdo de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral?
- ¿Cuál es el actual consumo de energía térmica y el volumen de biogás equivalente que generarán los purines en la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral?
- ¿Cómo diseñar una planta para la producción de biogás de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral?
- ¿Cómo validar el diseño de la planta de producción de biogás en la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral, mediante el programa BIODigestor – PRO versión 3.0?

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Diseñar una planta de producción de biogás para el consumo de energía térmica de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral, en el año 2021.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Determinar las características físicas y químicas de los purines de cerdo de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral.
- Determinar el actual consumo de energía térmica y el volumen de biogás equivalente que generarán los purines en la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral.
- Definir el diseño de la planta para la producción de biogás de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral que permita el ahorro de gas licuado de petróleo que actualmente consume.
- Validar el diseño de la planta de producción de biogás en la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral mediante el programa Biodigestor-PRO versión 3.0.

### **1.4 Limitantes de la investigación**

#### **1.4.1 Teórico**

Según Alfaro (2012), una limitante teórica es la organización en secuencia orgánica, lógica y deductiva los temas primordiales del marco teórico donde se hallan las variables del problema. Por lo que es necesario establecer un campo teórico donde los temas que son tratados y definidos en cada categoría propia del problema abordado, se encuentren relacionados entre sí. En ese sentido, se mencionan las siguientes limitantes teóricas.

El estudio respecto al biodigestor tipo laguna cubierta, a nivel nacional tiene poco avance en su desarrollo tecnológico y actualmente no se cuenta con normas o reglamentos nacionales los cuales puedan facilitar referencias de los parámetros de diseño del biodigestor; en el campo industrial se encontraron mínimas experiencias en cuanto a su instalación, teniendo estas limitaciones se indagó a nivel internacional donde está teniendo avances significativos.

Para este trabajo se tomaron guías de diseño y documentación bibliográfica extranjera. Así como también, se tomaron de referencia normativas americanas para los ensayos llevados a cabo en laboratorio.

Al no contar con laboratorios para los análisis físico-químicos de los purines en la Universidad Nacional del Callao y haber muy pocos en el Perú, se recurrió al laboratorio de Energías Renovables de la Universidad Nacional Agraria de La Molina para llevar a cabo los ensayos de análisis elemental, ph, proximal (termogravimétrico) y del contenido energético, teniendo que contratar sus servicios para proceder con los mismos.

#### **1.4.2 Temporal**

Acorde a Varnero (Varnero Moreno, 2011), una limitante temporal es aquel que se relaciona al período de tiempo considerado, sobre fenómenos, hechos y sujetos de la realidad. Una limitante transversal se comprende de aquellos estudios que pueden desarrollarse rápidamente, siempre que el problema sea planteado correctamente.

Debido a los trabajos que la granja realiza, su política interna (como los horarios de visita, los implementos y los procesos para el ingreso) y la disponibilidad de los encargados, así como el hecho de que la planta esté funcionando y sus colaboradores se encontraban ocupados con las actividades diarias y con poco tiempo predispuesto hizo que se dilatara el tiempo, resultando un trabajo que tomó más tiempo del esperado.

La situación de la coyuntura debido a la pandemia y las medidas adoptadas por el gobierno por la emergencia sanitaria hizo que se retrasen las visitas a la planta para el relevamiento de campo y recojo de muestras.

Debido a la coyuntura actual de la COVID 19, la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC contaba con una reducción personal, incluyendo al ingeniero de planta encargado de los equipos térmicos, por lo que no fue posible llevar a cabo las mediciones y tener acceso a las características técnicas de los equipos consumidores de energía térmica. Por tal motivo se trabajó con el dato de la adquisición de GLP para fines del segundo objetivo específico de esta investigación.

Por otro lado, el hecho que nos encontremos laborando a tiempo completo de lunes a viernes, también fue una limitante, que con sacrificio y ordenando bien la agenda pudo ser superado.

### **1.4.3 Espacial**

Según Varnero (2011), una limitante del tipo espacial se relaciona con el emplazamiento donde se desarrolla la investigación, para este fin es importante indicar el nombre del lugar. Acorde a lo referenciado podemos enunciar lo siguiente:

La empresa Centro Industrial y Comercial Porcino S.A.C., se encuentra ubicada en la Av. Fundo la Quincha MZ 66 lote "A", sobre los 188 m.s.n.m. Provincia y distrito de Huaral, ubicado en Lima, a aproximadamente a dos horas y media en auto al norte de la ciudad de Lima, lo que ha hecho que, para la toma de datos, se requiera organizarse para viajar hasta la zona.

La empresa Centro Industrial y Comercial Porcino S.A.C., actualmente no cuenta con un área lo suficientemente grande como para plantear un proyecto más ambicioso.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes

Los antecedentes Internacionales y nacionales son presentados a continuación:

#### 2.1.1 Antecedentes Internacionales

- Mago, Sosa, Flores y Tovar (2014) en su investigación del tipo aplicativo (dato inferido) titulada “Propuesta de diseño de una planta de biogás para la generación de potencia eléctrica en zonas pecuarias de Venezuela a través del programa Biodigestor”, cuentan como objetivo diseñar una planta de generación de potencia eléctrica mediante biogás en zonas pecuarias de Venezuela usando el programa BioDigestor©. Sus conclusiones son: el aporte de resultados en Venezuela, donde el potencial energético eólico y solar son nulos; considerando la carga ganadera de esta investigación, se puede suministrar electricidad (1 331 996,87 Kwh/año) a todo el Estado Guárico, considerando un prototipo con el software, que consiste de 2000 bovinos, con un peso promedio de cada animal de 500 kg, estiércol por animal al día de 43 kg, porcentaje de masa seca y volátil de 12% y 85% respectivamente, se obtienen 2 biodigestores en paralelo de 1357 m<sup>3</sup> de volumen cada uno, un tanque de alimentación para cada biodigestor de volumen 25,59 m<sup>3</sup>, el área de 166,93 m<sup>2</sup> útil para el lecho de secado, volumen útil del tanque de descarga de 102,34 m<sup>3</sup> se producirían 0,45 m<sup>3</sup>/día de CH<sub>4</sub> por m<sup>3</sup> de biodigestor o 16,88 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> por m<sup>3</sup> de biomasa, que equivale a 2056,77 m<sup>3</sup>/día de biogás y 3,65 MW por día, además de producir 97 198,08 kg de fertilizante orgánico por día. Esta investigación ayudó como referencia para el uso de este software únicamente para fines de verificación de los parámetros del diseño de los componentes fundamentales de la planta de producción de biogás.
- Vera-Romero, Martínez-Reyes, Jaramillo Melitón y Soriano-Agustina (2014), mediante su investigación titulada Potencial de generación de

biogás y energía eléctrica parte I: excretas de bovino y porcino de tipo aplicada tiene como objetivo obtener biogás a partir de las excretas del ganado vacuno y porcino de la región Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo de México, con la finalidad de abastecer de energía eléctrica para la región antes citada, concluyendo la obtención de un ahorro de 4,23% en el 2013, que representa un monto de \$18 300 000 pesos mexicanos, con un costo promedio de 2.326 pesos por cada kWh en una tarifa 5A de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Este antecedente reforzó en la guía para la obtención energía mediante las excretas de ganado vacuno y porcino.

- Bayona y Cortés (2015) en su tesis titulada “Producción de Biogás a Partir de Estiércol Porcino a Escala Piloto: Caso de Estudio Biorreactor Continuo Tubular Plástico (BCTP) Finca Tosoly, Colombia” tuvo como objetivo demostrar el desempeño favorable del biorreactor continuo tubular plástico que tiene la finca Tosoly de Colombia desde hace 15 años, mediante un método cuantitativo, concluyendo en la verificación de que es correcta la carga 1:7 excretas-agua que utiliza esta finca y con ello alcanza un rendimiento en producción de biogás entre 0,4 y 0,5 m<sup>3</sup>/día. Con el presente antecedente se demuestra que el tiempo de vida de los biodigestores puede superar los 15 años de vida útil. Asimismo, este antecedente aportó para tomar en consideración la relación excretas-agua.
- Estella (2016), en su tesis del tipo aplicativo (dato inferido), con título “Estudio de la producción energética a partir del aprovechamiento del biogás en una granja de ganado bovino”, la cual tiene como objetivo dimensionar una planta de biogás en una ganadería para reducir gastos energéticos y el impacto ambiental, analizando la viabilidad medioambiental y económica en un caso de estudio. La planta se dimensionó para 1200 cabezas de ganado bovino, contando así con 61 920 kg de estiércol diarios. Se dimensionaron dos biodigestores y se seleccionó un motor, el mismo que, con un funcionamiento de 8500 horas por año, se obtuvo 209 kW de energía y 190 kW eléctricos,

dotando a la granja de una independencia energética plena. Asimismo, esta tesis concluye que el caso propuesto cuenta con un pay back de 8,2 años, sin considerar el ahorro en las facturas energéticas mensuales, es decir, solo considerando los ingresos por la venta de electricidad (excedente) y se evitan anualmente la emisión de 3983,5 toneladas de CO<sub>2</sub>. El procedimiento para la determinación de los componentes de una planta de biogás fue de utilidad para comparar con lo expuesto en las guías de los expertos revisadas, así como, el considerar elementos como el filtro de sulfuro de hidrógeno y remoción de condensado, con el objetivo de suministrar energía térmica.

### **2.1.2 Antecedentes Nacionales**

- La tesis de Flores (2013) titulada “Producción y utilización de biogás a partir de purines, como una alternativa de energía renovable en el C.P. Chen Chen-Moquegua” la cual usa una investigación del tipo experimental, cuenta como objetivo obtener biogás por digestión anaeróbica con purines de origen pecuario para el sector de Cerro Blanco – Chen Chen – Moquegua. Obtiene como resultado de sus análisis físico químicos el valor de Ph en promedio de 7,4, cenizas de 2,25 %, Humedad de 74 %, Nitrógeno 1,7 %, por lo que es recomendable la producción de biogás a base del purín de cerdo que contengan estas características. Las conclusiones de esta tesis son: los análisis demostraron que el proceso anaeróbico dentro de los biodigestores fue exitoso por la disminución de la carga orgánica y bacteriana, así como la producción de biogás. De los tres tratamientos experimentados, se determinaron las cantidades de biogás generados de los 150 litros de purín (22,99; 25,89 y 24,66 litros de biogás/litro de purín), con un tiempo de retención entre 45 a 62 días. Se concluye además que un balón de GLP de 10 kg equivale a 22 m<sup>3</sup> de biogás y que la granja en estudio puede producir 3,36 m<sup>3</sup> biogás/día. Esta investigación recurre a los análisis físicos-químicos del sustrato para la digestión, siendo fundamental que el pH se encuentre entre la zona

de tolerancia recomendada por diferentes expertos (cercano al neutro), siendo estos criterios tomados en consideración en la presente investigación.

- La tesis de Pretell (2017) de título “Propuesta de tratamiento de excretas del ganado bovino del establo Monteverde para la generación de energía y su uso en el ordeño mecánico”, cuenta como objetivo proponer un tratamiento de excretas de ganado bovino para la generación de energía eléctrica en el área de ordeño mecánico en la empresa ganadera “Establo Monteverde” de Cajamarca, a través de una investigación aplicada. Las conclusiones de esta tesis son: El establo Monteverde cuenta con 2200 vacas, que producen 75125 kg/día de excretas. Con el 8,61% de estas se produjo 2268  $m^3$  de biogás al mes, además, en el análisis físico químico de las excretas bovinas se obtuvo 8,20 de pH, 132500  $mgO_2/L$  de sólidos suspendidos totales, un DQO de 15864,41  $mgO_2/L$ , DBO de 70000  $mgO_2/L$ , 506,45  $mg/L$  de fósforo y 1121,40  $mg/L$  de nitrógeno; el consumo actual de energía en el área de ordeño mecánico del establo es 8018 kWh al mes; fue seleccionado un biodigestor campana fija de escala grande para el tratamiento de las excretas bovinas, por no ser compleja su construcción y para contar con eficiencia en la generación del efluente y la interacción de los factores que afectan la digestión anaerobia. Esta investigación resalta la importancia de los siguientes análisis al sustrato en aras de contar con un pool bacteriano efectivo: análisis físico-químico (pH), análisis elemental y análisis termogravimétrico, los cuales deben ser llevados en laboratorios especializados.
- Santos (2018), en su investigación tecnológica cuasi experimental titulada “Evaluación para la generación de energía eléctrica, en base a biogás producido por la bosta de cerdo en la granja rico cerdo F&G. SAC en la Clake distrito de Reque – Chiclayo-Lambayeque” tiene como objetivo presentar una propuesta de generación de energía eléctrica, utilizando como fuente de combustible el biogás producido a base de estiércol de cerdo en la granja Rico Cerdos F&G S.A.C, en el

distrito de Chiclayo, por medio de una investigación aplicada. En esta propuesta se evaluó la clasificación de cerdos según su edad y sexo, concluyendo con el sistema de volumen de estiércol de 21,23 m<sup>3</sup> al día, utilizando un volumen de agua de 23,4 m<sup>3</sup> para su dilución, seleccionando un tiempo de retención de 25 días y obteniendo un volumen del biodigestor tipo laguna cubierta de 1606,71 m<sup>3</sup>, para luego obtener biogás de 891,6 m<sup>3</sup>/día, el cual generará energía de 1765,55 Kwh/d, con la finalidad de aprovechar en la planta porcino. Esta investigación comprueba el uso de un biodigestor tipo laguna cubierta para un sustrato compuesto por estiércol de porcino, aportando con los criterios a tomar en consideración para la selección de la tecnología del reactor a diseñarse (la temperatura ambiente, el Tiempo de Retención Hidráulica y/o la Carga Orgánica Volumétrica).

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Conservación de masa sin reacción química**

Según Calleja (s.f.), para todo sistema con régimen estacionario sin reacción química, se cumple la ecuación (1):

$$[A] = [E] - [S] + [G] . \quad (1)$$

donde:

[A]: Cantidad de materia acumulada en el recinto,

[E]: cantidad de materia que entra al recinto,

[S]: cantidad de materia que sale del recinto,

[G]: cantidad neta de materia que se genera en el recinto.

### **2.2.2 Principios para las líneas de distribución de biogás**

Según Mott (1996), todo sistema de fluidos que son conducidos mediante una tubería, se cumple la ecuación de Darcy-Weisbach, el cual es representado con la ecuación (2):

$$h_L = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} . \quad (2)$$

donde:

- $h_L$  : Pérdida de energía debido a la fricción ( $N \cdot m/N, m, lb - pie/lb, pie$ ),
- $f$  : factor de fricción (sin dimensiones),
- $L$  : longitud de la corriente de flujo (m o pie),
- $D$  : diámetro del conducto (m o pie),
- $v$  : velocidad del flujo promedio (m/s o pie/s),
- $g$  : aceleración de la gravedad ( $\frac{m}{s^2}$ ).

Según este mismo autor, en el cálculo del factor de fricción ( $f$ ), cuando se conocen el número de Reynolds y la rugosidad relativa, se deberá utilizar la ecuación (3) para flujo laminar, y la ecuación (4), para flujo turbulento:

- Régimen laminar.

$$f = \frac{64}{Re} . \quad (3)$$

- Régimen turbulento (ecuación de Swamee-jain).

$$f = \frac{0,25}{\left[ \log\left( \frac{1}{3,7(D/\varepsilon)} + \frac{5,74}{(Re)^{0,9}} \right) \right]^2} . \quad (4)$$

donde:

- $\varepsilon$  : Rugosidad de la tubería (mm),
- $D$  : diámetro interior de la tubería (mm),
- $Re$  : número de Reynolds.

Además, este autor menciona que Osborne Reynolds fue quien demostró que, de conocerse el valor de un número adimensional, se podrá predecir si el flujo es laminar o turbulento, actualmente ese número se conoce como número de Reynolds ( $Re$ ). La ecuación (5) muestra la definición básica del número de Reynolds.

$$R_e = \frac{\rho * v * D}{\mu} = \frac{vD}{\nu} . \quad (5)$$

donde:

- $\rho$  : Densidad del fluido.
- $D$  : diámetro interno de tubería,
- $v$  : velocidad del fluido,
- $\mu$  : viscosidad dinámica,
- $\nu$  : viscosidad cinemática.

Según White (2003), los valores recomendados para la rugosidad de la tubería, se muestran en la Tabla 1:

**Tabla 1.** Valores recomendados de rugosidad para conductos comerciales

Material	Condición	Rugosidad ( $\epsilon$ )		Incertidumbre, %
		ft	mm	
Hierro	Lámina metálica, nueva	0,00016	0,05	$\pm 60$
	Inoxidable	0,000007	0,02	$\pm 50$
	Comercial, nuevo	0,00015	0,046	$\pm 30$
	Estriado	0,01	3,0	$\pm 70$
	Oxidado	0,007	2,0	$\pm 50$
	Fundido, nuevo	0,00085	0,26	$\pm 50$
	Forjado, nuevo	0,00015	0,046	$\pm 20$
	Galvanizado, nuevo	0,0005	0,15	$\pm 40$
	Fundido asfáltico	0,0004	0,12	$\pm 50$
Latón	Laminado	0,000007	0,002	$\pm 50$
Plástico	Tubo laminado	0,000005	0,0015	$\pm 60$
Vidrio	--	Liso	Liso	
Hormigón	Liso	0,00013	0,04	$\pm 60$
	Rugoso	0,007	2,0	$\pm 50$
Caucho	Liso	0,000033	0,01	$\pm 60$
Madera	En duelas	0,0016	0,5	$\pm 40$

Fuente: Tomado del libro Frank M. White, Quinta edición (2003)

Por su parte, según Munson, Young y Okiishi (1999), existen pérdidas menores causadas por componentes adicionales (válvulas, codos, conexiones en T, etc.), estas pérdidas son calculadas por la siguiente ecuación:

$$h_s = K_s * \left( \frac{v^2}{2 * g} \right) . \quad (6)$$

Ahora bien, para el cálculo de las pérdidas de energía por fricción, según Pérez y Renedo (s.f.) la longitud  $L$ , es calculada como una longitud equivalente ( $L_{eq\_tub}$ ), el cual se determina por la ecuación (7),

$$L_{eq\_tub} = L_{p.tub} + L_{eq\ acc} \cdot \quad (7)$$

donde:

$L_{eq\_tub}$  = Longitud equivalente total (debido a pérdidas primarias y secundarias).

$L_{p.tub}$  = Pérdidas por la longitud de tubería.

$L_{eq\ acc}$  = Pérdidas por la longitud equivalente de los accesorios.

Para la determinación de las pérdidas se requieren las longitudes equivalentes, ellas son establecidas en la norma NTP 111.010:2003, de la cual se presenta un extracto en la Figura 3 (véase la página 26).

		Threaded fittings†		Valves (threaded, flanged, or welded)					elbows and smooth bends‡	Welding tees	
		Elbows 45°	90°	Tee	Plug	Globe	Angle	Swing check	R/d§ = 1-1/2	Forged	Mitre**
k factor =		0.42	0.9	1.8	0.9	10	5	25	0.36	1.35	1.8
n = L/D ratio†† =		14	30	60	30	333	167	83	12	45	60
Nominal pipe size in (Schedule 40)	Inside diameter (d) mm										
3/8	12.52	0.18	0.37	0.75	0.37	4.18	2.09	1.04	0.15	0.56	0.75
1/2	15.80	0.22	0.47	0.94	0.47	5.27	2.64	1.29	0.19	0.17	0.94
3/4	20.93	0.29	0.63	1.26	0.63	6.98	3.47	1.74	0.25	0.94	1.26
1	26.64	0.37	0.80	1.60	0.80	8.87	4.45	2.22	0.32	1.20	1.60
1-1/4	35.05	0.49	1.05	2.10	1.05	11.67	5.82	2.92	0.42	1.58	2.10
1-1/2	40.89	0.49	1.23	2.45	1.23	13.62	6.83	3.41	0.49	1.84	2.45
2	52.50	0.73	1.58	3.14	1.58	17.50	8.75	4.39	0.63	2.36	3.14
2-1/2	62.71	0.88	1.88	3.75	1.88	20.88	10.45	5.21	0.75	2.82	3.75
3	77.93	1.09	2.34	4.66	2.34	25.97	12.98	6.49	0.94	3.51	4.66
4	102.3	1.23	3.08	6.16	3.08	34.14	17.07	8.53	1.23	4.60	6.16
5	128.2	1.79	3.84	7.68	3.84	42.67	21.33	10.67	1.54	5.76	7.68

Figura 3. Resistencia de codos, accesorios y válvulas para gas natural expresada en Longitud Equivalente de tubería recta en metros. Fuente: Tomado de la Norma Técnica Peruana 111.010:2003.

Según Munson *et al* (1999), para el cálculo de la pérdida en una expansión y contracción brusca, el valor del factor de K es determinado de acuerdo a la Figura 4 y a la Figura 5, respectivamente:

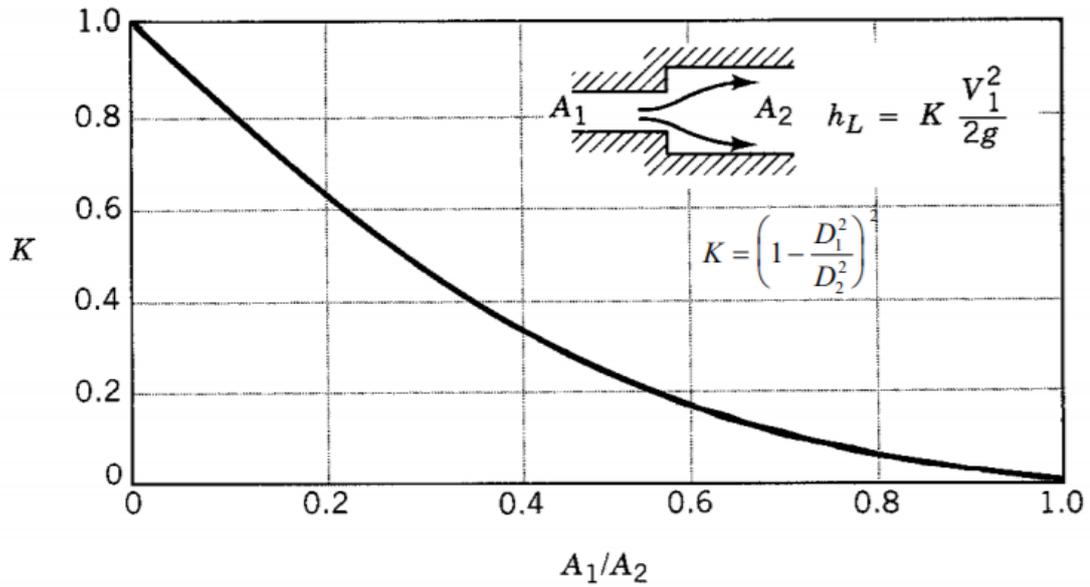


Figura 4. Coeficiente de pérdida (K) para expansión brusca.

Fuente: Libro Munson *et al* (1999)

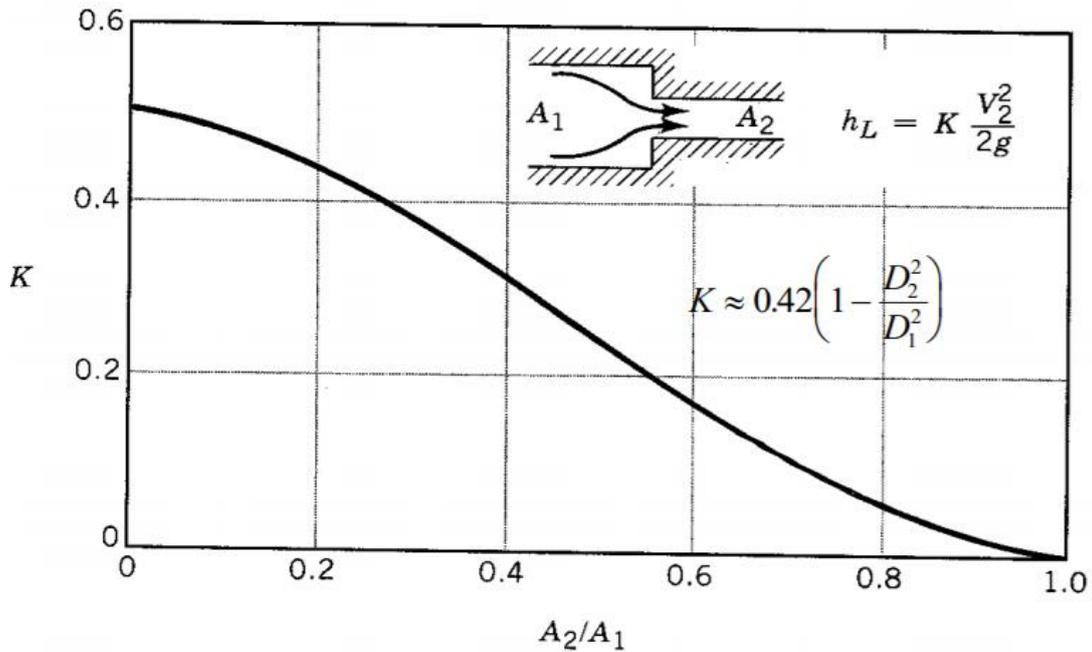


Figura 5. Coeficiente de pérdida (K) para contracción brusca.

Fuente: Munson *et al* (1999)

Según García (2016), considerando que el biogás se genera en condiciones isotérmicas, lo cual significa que la temperatura del biogás en la captación dentro del biodigestor será igual hasta el gasómetro; al no darse cambios significativos de temperatura, el biogás mantendrá su densidad constante. La ecuación general para el cálculo de pérdidas de presión en tuberías que albergan los gases que fluyen en condiciones isotérmicas es la siguiente:

$$\frac{M}{2RT} = ((P_2)^2 - (P_1)^2) + G^2 \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) + (4f) * \frac{G^2 * L}{2 * D}. \quad (8)$$

donde:

- M: peso molecular del gas (kg/mol).
- R: constante universal de gases (J/mol·K):  $8,314 \frac{J}{mol * K}$ .
- T: temperatura del gas (K).
- G: velocidad másica del gas (kg/m<sup>2</sup>·s).
- (4f): factor de fricción.
- L: longitud de la conducción (m).
- D: diámetro interno de la conducción (m).
- P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>: presión a la entrada y salida de la tubería, respectivamente (Pa).

Para el caso en los que la velocidad de flujo es inferior a 35 m/s, la anterior ecuación se simplifica a la llamada ecuación de Weymouth.

$$((P_1)^2 - (P_2)^2) = \frac{R * T}{M} * (4f) * \frac{G^2 * L}{D}. \quad (9)$$

Asimismo, este mismo autor indica que para determinar las pérdidas de carga en la trampa de humedad o condensador de agua se considerará a la entrada como un ensanchamiento brusco y a la salida como una contracción brusca y se determina mediante la ecuación (10) o (11):

$$\Delta P_{expansión/contracción} = P_2 - P_1 = Kx \frac{(G_1)^2}{2x\rho}. \quad (10)$$

$$\Delta P_{\text{expansión/contracción}} = \left(1 - \frac{D_1^2}{D_2^2}\right) \times \frac{G_1^2}{2x\rho} . \quad (11)$$

donde:

$\Delta P_{\text{expansión/contracción}}$  : Pérdidas de presión, ya sea para una expansión o para una contracción, Pa.

K: Coeficiente de pérdidas por expansión.

$G_1$  : Velocidad másica, corriente arriba, (kg/m<sup>2</sup> \* s)

$\rho$  : Densidad, (kg/m<sup>3</sup>).

$\frac{D_1^2}{D_2^2}$  : Es la relación de los cuadrados de los diámetros, que se deriva de la relación de las áreas.

## 2.3 Conceptual

### 2.3.1 La energía térmica

La energía térmica es todo fenómeno que esté relacionado con el calor y la temperatura.

Según Sala y López (2011), Para un proceso finito entre dos estados, en sistemas cerrados, el calor absorbido (Q) y el trabajo (W), así como la variable termodinámica energía interna  $\Delta U$  son relacionados con la 1era ley de la termodinámica – ecuación (12)

$$\Delta U = Q - W . \quad (12)$$

Estos mismos autores, definen que, la capacidad calorífica a volumen constante ( $C_v$ ) representa el cociente entre el calor intercambiado ( $d'Q$ ) y la variación de temperatura ( $dT$ ) en el que el volumen permanece constante, cumpliéndose con:

$$C_v = \frac{d'Q}{dT} . \quad (13)$$

Según Cabrera, Madriñan y Muñoz (2013), para calcular la energía térmica o calor aprovechado, se aplica la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{aprovechado} = \dot{m}_{gas} * P_{C_{gas}} - \sum_{pérdidas} \dot{Q} . \quad (14)$$

donde:

$\dot{Q}_{aprovechado}$ : Es el calor aprovechado, a raíz de la combustión.

$\dot{m}_{gas}$ : masa del gas o combustible.

$P_{C_{gas}}$ : Poder calorífico del gas o combustible.

$\sum_{pérdidas} \dot{Q}$ : Pérdidas de calor que pueden ocasionarse en un proceso.

Según el MINEM y PRODUCE (2008), para el caso del GLP, el Poder Calorífico Inferior y demás propiedades físicas son mostradas en la Tabla 2:

**Tabla 2.** *Propiedades físicas del Gas Licuado de Petróleo*

<b>Propiedades físicas</b>	
Peso Molecular promedio	49,70
Densidad promedio a 15 °C (kg/m <sup>3</sup> )	2,103
Poder Calorífico Inferior - calculado (kcal/m <sup>3</sup> @ 15 °C)	23072
Poder Calorífico Superior - calculado (kcal/m <sup>3</sup> @ 15 °C)	25042
Densidad relativa al aire a 15 °C	1,715

Fuente: Ministerio de Energía y Minas y Ministerio de la Producción (2008)

Según Romero (2014), para el caso del biogás, el poder calorífico inferior se encuentra entre 5 – 7 kWh/m<sup>3</sup>, el valor exacto depende del contenido de CH<sub>4</sub>. La temperatura de auto-ignición se encuentra entre 650 – 750 °C. Líneas abajo este mismo autor menciona que el poder calorífico del biogás es de aproximadamente 6,25 kWh/m<sup>3</sup>, para casos prácticos, como es el dimensionamiento de generadores.

### **2.3.2 La biomasa**

Según la norma EN 14588:2010, la biomasa es un material de origen biológico a excepción del material de formaciones geológicas y/o fosilizado. La biomasa es material orgánico que puede ser de origen vegetal o animal.

Los residuos de biomasa más importantes son: residuos forestales naturales, como ramales, madera y arbustos; residuos de las industrias forestales, como

madera de los procesos industriales, de los aserraderos, por ejemplo; residuos agrícolas, es la fracción de las plantas que no se aprovechan para fines alimentarios y suele dejarse en el campo, como las cañas de maíz, el bagazo de la caña de azúcar o la cascarilla de café; residuos ganaderos. Se consideran en este grupo, en el caso donde los animales están en un mismo recinto y pueden ser recopilados, como son los purines de cerdo en un centro de sacrificio; residuos urbanos, las zonas urbanas son focos de grandes cantidades de basura compuestas, mayormente, por materia orgánica que, luego de ser procesada, puede transformada en energía, como los residuos alimentarios, aguas negras, entre otros; residuos industriales, esta actividad genera residuos en forma de aceites y grasas en grandes cantidades que deberían ser tratadas o recicladas; cultivos energéticos, se refiere a zonas agrícolas para obtener energía, como el caso de soja, palma africana (especies oleaginosas) o especies leñosas. (Fundación Energía sin Fronteras, 2012).

### **2.3.3 Aprovechamiento de los desechos**

Para Romero (2014), muchos tipos de biomasa pueden ser digeridos anaeróbicamente, sin pre tratamiento y con muy buenos rendimientos, siempre que se consideren muy bajos contenidos de impureza o componentes inhibidores, como estiércoles, restos de mataderos, forrajes, entre otros. Otros residuos orgánicos, en cambio, requieren de un pre tratamiento; como alimentos con fecha de expiración vencida que contienen empaques, como plástico, cartón, papeles, etc.), residuos de mercado, etc. Los sustratos orgánicos pueden ser pobres o adecuados para la digestión dependiendo de su costo de pre tratamiento, cantidad de inhibidores, de baja biodegradabilidad, riesgos higiénicos o problemas logísticos de transporte o recolección que encarece el proceso, como restos de restaurantes, residuos de jardinería, paja, partes de animales, etc.).

Según Martí (2008), la producción de purines en kg por cada 100 kg de peso vivo del animal se determina de acuerdo a lo indicado en la siguiente tabla:

.

**Tabla 3.** *Producción de purines fresco diario por tipo de animal*

<b>ANIMAL</b>	<b>PURINES</b> <b>(kg/100 kg de peso vivo)</b>
Vaca	8
Cerdo	4
Caballo	7
Cabra	4
Conejo	3

Fuente: Martí, J. (2008).

Sobre el peso vivo promedio de marrana, el término recurrente por los especialistas en porcicultura es peso de faena. En cuanto a este peso, si bien es una decisión de cada productor o sistema productivo, en determinado peso y porcentaje de madurez se prioriza la ganancia de tejido graso por sobre la de magro. Teniendo en cuenta que el genotipo es un factor que define este porcentaje, por lo general, este se da entre los 90 y 100 kg de peso vivo (PV). Por ende, la decisión de aumentar el peso de sacrificio tiene consecuencia sobre la tasa de crecimiento. (Cicarelli, 2017). En la Tabla 4 se muestran los pesos promedios de cada categoría del cerdo, según Alonso, Lorenzo, Díaz, Sosa y Angulo (2014).

**Tabla 4.** *Peso promedio de cada categoría del cerdo*

<b>Categoría de animales</b>	<b>Peso promedio (kg)</b>
Preceba	15
Ceba	55
Lechones	50
Cochinatas	80
Reproductoras	95
Crías	4
Verracos	120

Fuente: Alonso et al. (2014).

Considerando una masa promedio de una marrana de aproximadamente 95 kg y acorde a las consultas hechas al Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral sobre la cantidad de animales a considerarse para esta investigación (600 marranas); para realizar la estimación de la masa de purines por día se tomará la información de la Tabla 3 (véase la página 32), de la cual se deduce la ecuación (15).

$$m_{diaria} = \frac{PP_{TIPO DE ANIMAL}}{100kg \text{ peso vivo}} * \bar{m}_{marrana} * N^{\circ}cerdos . \quad (15)$$

donde:

$m_{diaria}$ : Masa total de purines al día, en kg de purines/día.  
 $\frac{PP_{TIPO DE ANIMAL}}{100kg \text{ peso vivo}}$  : Producción de purines por cada 100 kg de peso vivo de cada tipo de animal, dato según la

**Tabla 3** (véase la página 32), en kg/100kg de peso vivo.

$\bar{m}_{marrana}$ : Peso vivo promedio de una marrana de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral, en kg.

$N^{\circ}cerdos$ : Cantidad de cerdos de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral, factor adimensional.

### 2.3.4 Planta de producción de biogás

Para Viñas, Rubio y García (s.f.), un sistema de tratamiento anaeróbico está compuesto por lo siguiente:

- Cámara de rejas - desarenador - desfibrador
- Tanque homogeneizador - estación de bombeo
- Digestor
- Laguna facultativa
- Lechos de secado al sol
- Gasómetros

Por su parte, Romero (2014), considera el diseño de lo siguiente para biodigestores tipo laguna:

- Construcción de la laguna
- Muro perimetral para sujetar la membrana de cubierta
- Tanques de alimentación
- Tuberías de alimentación y descarga,
- Tuberías de captación de biogás.
- Válvulas de seguridad
- Materiales para cubrir el fondo y la cubierta de los biodigestores
- Sistema de agitación
- Extracción y recirculación de lodos
- Laguna de descarga
- Lecho de secado de lodos,
- Tuberías de conducción,
- Control del proceso,
- Antorchas,
- Tren de Calibración.

### **2.3.5 El biogás y bases de la biodigestión**

#### **El biogás**

El biogás es un gas combustible compuesto en gran parte por metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), obtenido de una fermentación anaeróbica (en ausencia de oxígeno) de materiales orgánicos biodegradables. (Pascual, 2009).

Según Rodríguez y Flores (2018), el metano es un hidrocarburo de la serie de los alcanos y la mezcla con el aire es comburente y arde con llama azul. El biogás se produce de manera natural en: vegetación que cuando se descompone libera gas metano, cultivos sumergidos como el arroz; pantanos y humedales por la putrefacción de la vegetación en el fondo; estiércol de animales de granja; desagües urbanos que tratados en digestores anaerobios producen metano y rellenos sanitarios por descomposición de la basura orgánica.

Según Alcides (s.f.), el biogás para la cocción de alimentos, como sustituto de leña, GLP, etc., este puede ser usado para iluminación con lámparas adaptadas. Este combustible puede formar un gas detonante muy explosivo, en mezclas con una relación 1:20 entre biogás y aire, por lo que también es usado en grupos generadores con motores de combustión interna adaptados. Será requisito que el metano se encuentre en concentraciones de 50 % o más que puede justificarse su uso como combustible.

La Tabla 5 muestra la composición del biogás, de manera más detallada:

**Tabla 5:** Composición química del biogás

<b>COMPONENTE</b>	<b>ECUACIÓN QUÍMICA</b>	<b>CONCENTRACIÓN (VOL. EN %)</b>
Metano	CH <sub>4</sub>	50-75%
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	25 a 45%
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	< 5,000 ppm
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	< 5,000 ppm
Sulfuro de hidrógeno	H <sub>2</sub> S	< 1%
Amoniaco	NH <sub>3</sub>	0.1-0.5
Monóxido de carbono	CO	0.1
Oxígeno	O <sub>2</sub>	< 5,000 ppm
Agua	H <sub>2</sub> O	2% a 20°C/16% a 55°C

Fuente: Rodríguez y Flores (2018).

Para Pascual (2009), la capacidad calorífica del biogás se sustenta en el alto porcentaje de metano, por lo que, tras un proceso de filtrado, para eliminar el condensado y el H<sub>2</sub>S se puede usar en máquinas térmicas para obtener calor y/o electricidad. 1m<sup>3</sup> de biogás equivale a la energía de 0,65m<sup>3</sup> de gas natural y puede llegar a producir 2,1 Kwh de electricidad. Otras características del biogás, según este autor son:

- Humedad alta; presión de proceso baja y variable (entre 15 y 45 mbar relativos)
- Composición variable (contenido de metano variable)
- Parte de su composición, como el CO<sub>2</sub> y el H<sub>2</sub>S son muy corrosivos en lugares con nivel de humedad elevado.

Según García (2016), a condiciones normales, la densidad del biogás es de  $1,06 \text{ kg/m}^3$  y la viscosidad dinámica ( $\mu$ ) es  $1,38 \times 10^{-5} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m.s}}\right)$ . Asimismo, según este mismo autor el biogás cuenta con un peso molecular de  $0,026 \text{ kg/mol}$ , considerando en su composición un 62,8% de metano (CH<sub>4</sub>).

### **Factores que influyen en el proceso de digestión anaeróbica**

Según Rivas (2012), la digestión anaeróbica no es un control de la contaminación como tal, en la práctica, pero colabora con la captura gases de efecto invernadero (GEI), además reducir los malos olores considerablemente. El metano es un GEI importante por tener 25 veces mayor potencial de calentamiento que el CO<sub>2</sub>. Dentro de las fuentes de emisión de metano, los desechos animales y vertederos representan más del 10% de las emisiones de metano generados en condiciones anaeróbicas. A continuación, se detallan los factores a considerar para una digestión anaeróbica:

- Relación Carbono/Nitrógeno C/N: Según Briseño (2017), los microorganismos suelen consumir estos elementos, por lo que, para un desarrollo de flora bacteriana, es necesario un ratio adecuado entre nutrientes. Un ratio entre 15/1 y 45/1 de C/N es aceptable, el valor recomendable está de 20/1 a 30/1. Además, se requieren algunos minerales como nutrientes.

Si la relación está por encima de 40/1 se inhibe el crecimiento por falta de nitrógeno (Tratamiento de Residuos Orgánicos mediante el Uso de Biodigestores, 2018).

- Rango de pH y alcalinidad: Según Reyes (2017), los valores de pH entre 6 y 8,3 son aceptables para un buen rendimiento de degradación y una elevada concentración de metano. Con un pH menor que 6 y mayor que 8,3 la digestión anaeróbica comienza a inhibirse. Interrumpir la alimentación al biodigestor con biomasa y hacerlo solo con agua es una manera de corregir el pH, cuando el pH es mayor se puede sacar frecuentemente una pequeña cantidad de efluentes y agregar purín fresco en la misma cantidad extraída, cuando el pH es bajo se puede agregar, agua amoniacal diluida.

Según Almeida (2011), los Ácidos Grasos Volátiles (AGV) acumulados disminuye el pH, afectando la metanogénesis. Van Kessel y Russell (1996) no detectaron la formación de metano en una vaca fistulada con un fluido ruminal cuando el pH era menor a 6.

- Temperatura: Para iniciar la biodigestión se necesita de una temperatura entre 4 °C - 5 °C, por lo menos, pero no debe pasar de 70 °C – 80 °C. (Tratamiento de Residuos Orgánicos mediante el Uso de Biodigestores, 2018). Según Martí (2008), si se está por debajo del rango de temperaturas óptimas de trabajo, la actividad bacteriana desciende. Se puede decir que las bacterias se “duermen” y no producen biogás a temperaturas inferiores a 5 °C.

Para Romero (2014), los biodigestores pueden operar en tres rangos de temperatura: psicrófilico (por debajo de 25 °C), mesófilico (entre 25 °C y 45 °C) y termófilico (45 °C – 60 °C). La mayoría de los digestores, funcionan en forma óptima dentro de los límites de temperaturas mesófilas, entre 35 °C – 37 °C.

Según Casanovas y Della (2019, pág. 34) en su investigación para la Naciones Unidas titulado Guía teórico-práctico sobre el biogás y los biodigestores define que el biodigestor tipo laguna cubierta funciona en

zonas donde la temperatura no descienda por debajo de los 10 °C. En la Figura 6 se muestra la producción en función de la temperatura:

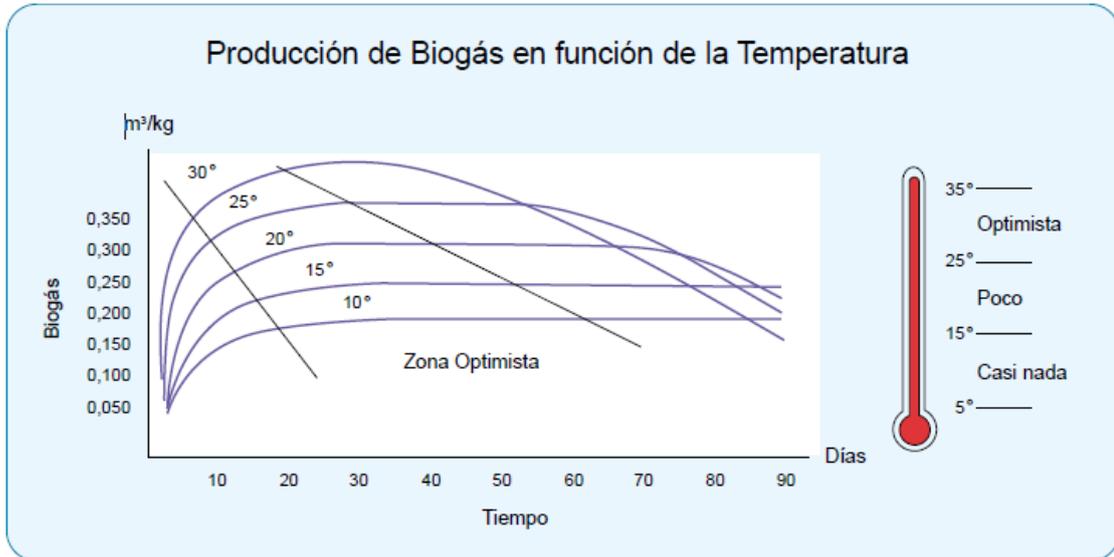


Figura 6. Producción de biogás en función de la temperatura.  
Fuente: Varnero (2011).

- **Tiempo de Retención Hidráulico (TRH):** Es el periodo en el que la biomasa es degradada por los microorganismos en un biodigestor. (Tratamiento de Residuos Orgánicos mediante el Uso de Biodigestores, 2018).

Para Varnero (2011), en un biodigestor con operación estacionaria o “discontinua”, el periodo entre la carga y descarga del sistema viene a ser el tiempo de retención.

Para Romero (2014), el tiempo de retención en los biodigestores con operación continua es el valor en días del cociente entre su volumen y el volumen de carga diaria. El tiempo de retención es el tiempo que la biomasa permanece al interior del biodigestor hasta su descarga. Cuando el tiempo de retención es menor, las bacterias tienen menos tiempo para degradar la materia orgánica.

$$\text{Tiempo de retención (días)} = \frac{\text{Volumen del digestor (m}^3\text{)}}{\text{Volumen de carga diaria (} \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \text{)}} \quad (16)$$

Según Romero (2014), el TRH está muy relacionado con tres factores: el tipo de sustrato, la COV y la temperatura. A mayor temperatura de los procesos, implica menores tiempos de retención y, por lo tanto, será menor el volumen requerido del biodigestor para digerir cierto volumen de biomasa.

El precitado autor indica que, por lo general la sustancia con mayor carbono en moléculas resistentes (celulosa, por ejemplo), para ser totalmente digeridos, necesitarán mayor TRH. Si se selecciona un TRH demasiado corto, las bacterias no tienen tiempo de formarse y crecer. Las bacterias, necesitan, aunque sea los días necesarios para duplicarse. Lo que nos lleva a considerar un TRH de 10 días como mínimo (de límite inferior) para la producción de bacterias metanogénicas.

Según Rodríguez y Flores (2018), en la Tabla 6 se muestra ejemplos del TRH para estiércol con temperatura ambiente entre 20°C a 40°C:

**Tabla 6.** TRH para estiércol con temperatura ambiente entre 20 °C a 40 °C (referencial)

SUSTRATO	TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO (DÍAS)
Estiércol vacuno líquido	20 a 30
Estiércol porcino líquido	15 a 25
Estiércol animal mezclado con plantas	50 a 80

Fuente: Rodríguez y Flores (2018)

Por otro lado, según Barrena, Olivares, Taramona y Chauca (2017), con la ecuación (17), se puede determinar en base a la temperatura ambiente del lugar, el TRH en días, con un ajuste  $R^2 = 0,924$ , de manera que se obtenga una fecha posible a partir de la cual podrá hacer uso del biogás y los productos (bioabonos) de un biodigestor.

$$TRH = -44,70 * \ln(\bar{T}) + 160,394 . \quad (17)$$

donde:

$\bar{T}$ : Es la temperatura promedio en un tiempo determinado, en °C.

- Tipo de sustratos: La materia orgánica en tratamiento debe contar con nutrientes disponibles suficientes. En adición al nitrógeno y carbono también debe contar con sales minerales, como azufre, calcio, fósforo, hierro, potasio, níquel, zinc, magnesio, tungsteno, cobalto, selenio, molibdeno y otros oligo-elementos traza. (Tratamiento de Residuos Orgánicos mediante el Uso de Biodigestores, 2018).
- Porcentaje de sólidos: Este factor permite determinar el comportamiento del pool bacteriano metanogénico dentro del sustrato y brindar una completa movilidad, este porcentaje puede inhibir la producción de biogás. El valor óptimo de sólidos en la mezcla debe ser entre 3 % al 10 % y se alcanza diluyendo con agua el material orgánico. Este es determinado con un análisis en laboratorio. (Tratamiento de Residuos Orgánicos mediante el Uso de Biodigestores, 2018).
- Agitación: Según Varnero (2011), un sistema de agitación se instala para conseguir un mejor vínculo entre las bacterias y el sustrato, evitando la formación de espumas y costras en la superficie del sustrato, ya que ello puede obstaculizar la salida del biogás, asimismo uniformiza la densidad bacteriana.

Según este autor, se distinguen 3 tipos de agitación, estos son:

- Mecánica: con motores eléctricos o con de agitadores manuales.
- Hidráulica: cuando la biomasa se hace recircular con bombas para flujo lento.

- Burbujeo de biogás: cuando a través de tuberías se recircula el biogás generado al biodigestor, para que por burbujeo se consiga que la biomasa se mueva.
- Carga Orgánica Volumétrica (COV): Para Romero (2014), el COV es la masa volátil (MV) por día y por m<sup>3</sup> de volumen de biodigestor, con la que se alimenta a este. Se mide en kg MV/m<sup>3</sup> · d.

Según Varnero (2011), la COV puede ser mayor al tener una menor temperatura y mayor TRH. Lo que significa que el biodigestor puede ser alimentado con mayor biomasa. La COV puede aumentarse hasta un valor límite determinado; sin embargo, a mayor COV, mayor es el riesgo de inhibir el proceso, ya que el biodigestor se alimenta con demasiada biomasa orgánica para las bacterias. Dado este escenario, el proceso se vuelve muy inestable y, es necesario que se monitoree y se analice con más frecuencia. Por lo general, la COV debe llegar a valores entre 2 – 3 kgMV/m<sup>3</sup> de biodigestor y por día (kg MV/m<sup>3</sup> · d).

### **Consideraciones en referencia al biogás**

Según Rodríguez y Flores (2018), el biogás al ser un combustible:

- Si se mezcla con el oxígeno del aire, es inflamable y explosivo.
- Si el contenido de oxígeno es mayor que 18%, es asfixiante por el contenido de CO<sub>2</sub>.
- Por su contenido de H<sub>2</sub>S es tóxico y si la concentración es >50mg/m<sup>3</sup>, es mortal.
- Cabe la posibilidad de generar de atmósferas explosivas, debido a posibles fugas de biogás.

Se deberá considerar la revisión de las tuberías de biogás y una señalización adecuada de estas. En el caso de tuberías aéreas, deben ser amarillo y llevar una señalización y/o un letrero que diga “Biogás”, además de una flecha en

dirección del flujo. Para las tuberías enterradas, estas deberán de estar a 30 cm de profundidad.

La siguiente imagen muestra la energía comparada del biogás y otros combustibles utilizados comúnmente:

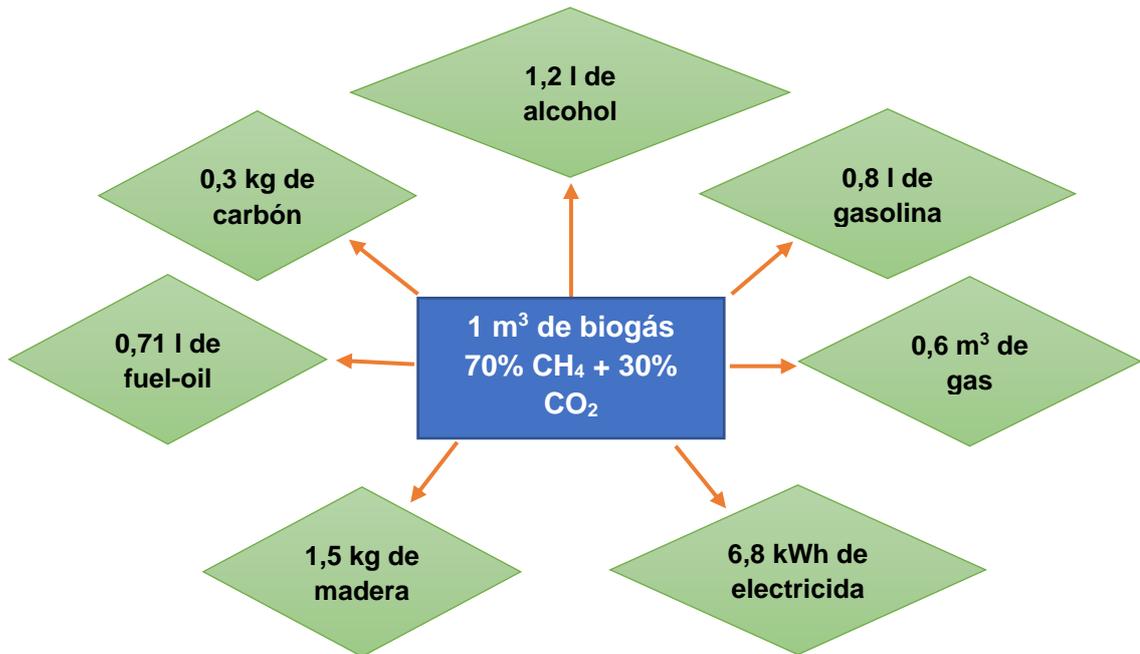


Figura 7. Energía comparada del biogás y otros combustibles.

Fuente: Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía- IDEA, 2007.

### 2.3.6 Conceptualización de los componentes principales de una planta de biogás

#### El tanque de alimentación

Según Romero (2014), el tanque de alimentación es donde se lleva a cabo la mezcla de agua con estiércol, para una mejor dilución se suele instalar un mezclador en donde sedimentarán los sólidos pesados que no pueden ingresar al biodigestor, ya que causarían daños irreparables como la ruptura de la geomembrana, obstrucción en las tuberías de alimentación y descarga o dañar al impulsor del agitador. Para el cálculo del agua a adicionar a la mezcla, se deberá usar la ecuación (18):

$$Q_{(agua)} = MT - (MH - MS) . \quad (18)$$

donde:

$Q_{(agua)}$ : Volumen de agua que se tiene que agregar al día. (l/d)

$MT$ : Masa total de llenado, purín recogido (kg).

$MH$ : Masa húmeda (purines recogidos al día) kg.

$MS$ : Masa seca kg.

Para Romero (2014), el dimensionamiento del tanque de alimentación se realiza para una carga diaria al biodigestor, es decir, se programa para que se alimente al biodigestor toda esta carga en 24 horas, ya sea de forma automática o manual. Esto incluye el volumen de la mezcla biomasa y agua utilizada para la dilución. El volumen de agua a añadir para diluir la biomasa, depende de la masa seca porcentual de la biomasa.

Un aspecto importante a considerar en su dimensionamiento es la densidad de los purines de las marranas, la cual varía entre 1015 y 1023 kg/m<sup>3</sup>, según Lobera, Martínez, Ferrández y Gámez (1998).

### **El biodigestor**

Para Varnero (2011), un biodigestor consiste en un depósito cerrado, donde se introducen los residuos orgánicos mezclados con agua para ser digeridos por microorganismos (Lagrange, 1979). El biogás puede ser almacenado en la parte superior de este mismo depósito del digestor, llamada campana o domo de gas, la cual puede ser flotante o rígida, o puede estar separada del digestor, para este caso, se le llama gasómetro.

Según este autor, para la correcta operación de un digestor de residuos orgánicos, se deberá cumplir lo siguiente:

- a) Hermeticidad, para evitar contacto con el aire que interfiera con la digestión anaeróbica y se impida las fugas de biogás.

- b) Contar con un material termoaislante para no tener cambios de temperatura, por tal motivo es que, en gran proporción, son parcialmente enterrados.
- c) El contenedor de biogás deberá poseer una válvula de seguridad, pese a que opere a baja presión.
- d) Poseer medios de carga y descarga del sistema.
- e) Considerar los accesos para el mantenimiento.
- f) Evitar las costras que se forman mediante algún medio.

De acuerdo a Cofre (2001), según el método de carga los biodigestores se pueden clasificar, de acuerdo al método de carga en: biodigestor tipo batch, el cual es cargado en un solo lote, el vaciado es completamente y recargado con material fresco, una vez la producción de biogás haya decaído bajo cierto nivel después del tiempo de fermentación diseñado y biodigestor tipo continuo, en el que el efluente es descargado en la misma proporción en que el afluente ingresa y este es agregado de manera continua, así, se lleva a cabo una fermentación permanente con producción uniforme de biogás, y es fácilmente controlable, comúnmente este tipo es usado cuando abunda la biomasa.

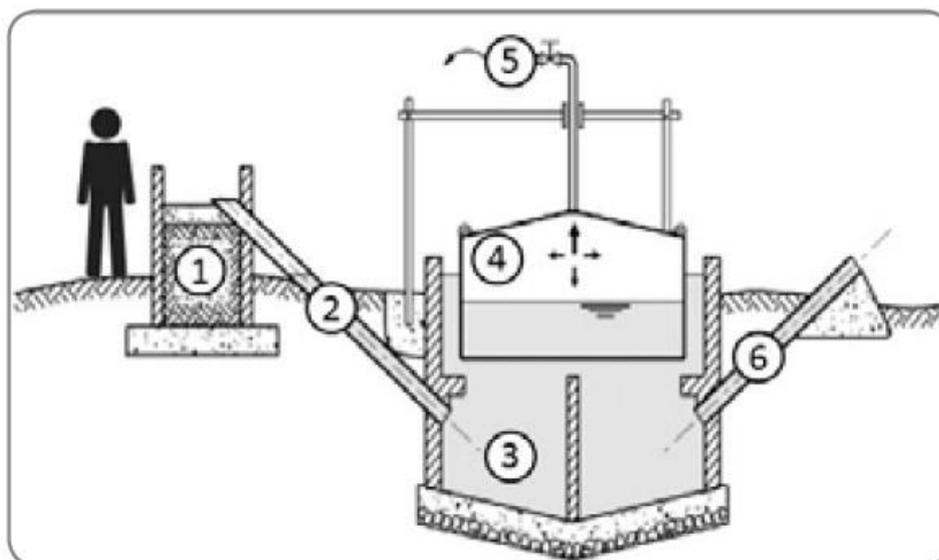
Según Avila, Sotomayor, Erlwein, y Cerda (2016), en Latinoamérica es muy común los biodigestores del tipo estructura flexible, por lo bajos costos, la permanente eficiencia y lo práctico que es construirlo, los biodigestores tipo laguna la tierra es usada como estructura de soporte. Además, el uso de geomembranas elásticas con materiales de alta resistencia (a los parámetros medioambientales y al biogás), aportan a una larga vida útil. A continuación, se describen los tipos de biodigestores más usados y sus principales características.

**Tabla 7.** Características de un biodigestor de domo flotante tipo hindú

Material	Aplicación	Ventaja	Desventaja
Estructura de ladrillo, domo de acero o fibra de vidrio, greda.	Para desechos animales, aguas negras.	Presión constante de salida del biogás, también para alimentación semicontinua.	Dificultad y costos de instalación y mano de obra altos en relación a un sistema de estructura flexible.

Fuente: Avila et al (2016).

En la Figura 8 (véase la página 45), se representa un esquema de las partes de un biodigestor de domo flotante tipo hindú.



*Figura 8.* Biodigestor de domo flotante, tipo hindú.

Fuente: Guardado-Chacón JA (2007).

A continuación, se detalla la leyenda de la Figura 8.

1. Tanque de alimentación
2. Tubería de carga del sustrato
3. Cámara de digestión

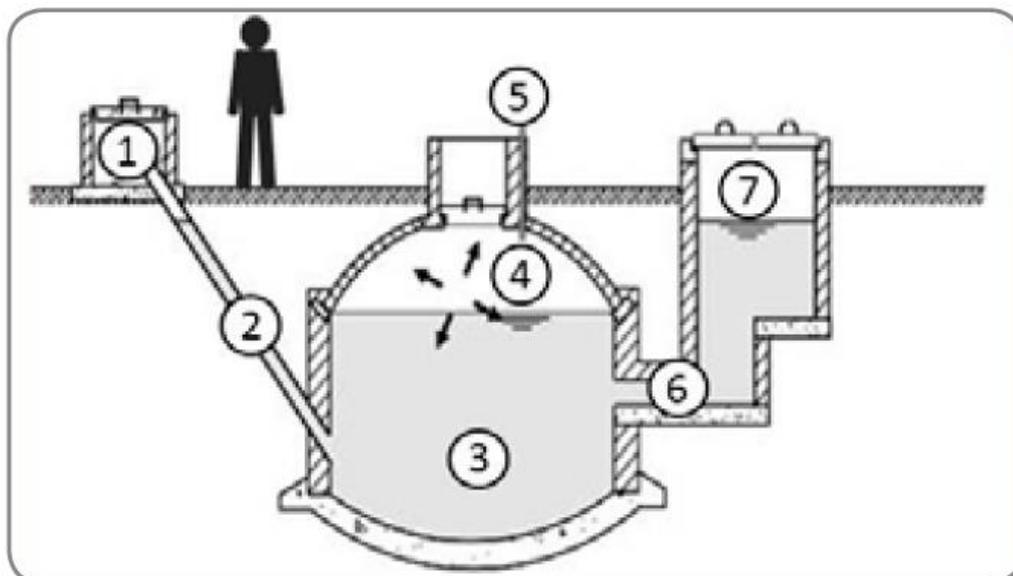
4. Domo o cúpula/gasómetro
5. Salida de biogás
6. Tubería de descarga

**Tabla 8.** Características de un biodigestor de domo fijo tipo chino

Material	Aplicación	Ventaja	Desventaja
Ladrillo, mortero, cemento, greda, Fibra de Vidrio, Metal.	Desechos de animales, aguas negras, desechos vegetales.	Larga vida útil (20 años aproximadamente), alta presión del biogás 1 a 1,5 m columna de agua, también para alimentación semicontinua.	Altos costos de instalación en relación a sistema de estructura flexible, se requiere estructura resistente para altas presiones del biogás.

Fuente: Avila et al. (2016).

En la Figura 9, se representa un esquema de las partes de un biodigestor de domo fijo tipo chino.



*Figura 9.* Biodigestor de domo fijo, tipo chino.

Fuente: Guardado-Chacón JA (2007).

A continuación, se detalla la leyenda de la Figura 9:

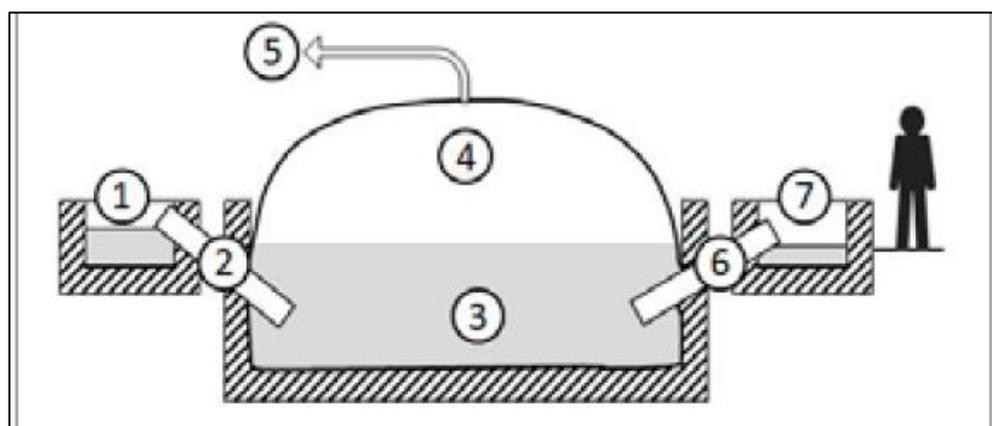
1. Tanque de alimentación
2. Tubería de carga del sustrato
3. Cámara de digestión
4. Domo fijo/gasómetro
5. Salida de biogás
6. Tubería de descarga
7. Cámara de acopio del digestado (biol y biosol)

**Tabla 9.** Características de un biodigestor de estructura flexible

Material	Aplicación	Ventaja	Desventaja
PVC, Polietileno (mangas de 0,1 mm), HDPE, EPDM (geomembranas)	Todo tipo de desechos orgánicos	Según material mediana y larga vida útil. Bajos costos de instalación en relación a sistemas de estructura rígida. 100% hermético, también para alimentación semicontinua.	Requiere mayor protección para evitar roturas.

Fuente: Avila *et al* (2016).

En la Figura 10, se representa un esquema de las partes de un biodigestor de estructura flexible.



*Figura 10.* Biodigestor de estructura flexible.

Fuente: Avila *et al* (2016).

A continuación, se detalla la leyenda de la Figura 10.

1. Tanque de alimentación
2. Tubería de carga del sustrato
3. Cámara de digestión
4. Domo o gasómetro flexible
5. Salida de biogás
6. Tubería de descarga
7. Cámara de acopio digerido (biol y biosol)

**Tabla 10.** *Características de un biodigestor de estructura rígida y gasómetro externo*

<b>Material</b>	<b>Aplicación</b>	<b>Ventaja</b>	<b>Desventaja</b>
Estructura de Fibra de vidrio, Metal, Hormigón.	Desechos orgánicos líquidos y sólidos, aguas negras (WC).	Rapidez en la instalación cuando son estanques, prefabricados, bajos costos de instalación con materiales plásticos, también para alimentación semicontinua.	Dificultad para realizar limpieza por las puertas o tapas de entrada. Tamaños limitados.

Fuente: Avila *et al* (2016)

En la Figura 11, se representa un esquema de las partes de un biodigestor de estructura rígida y gasómetro externo.

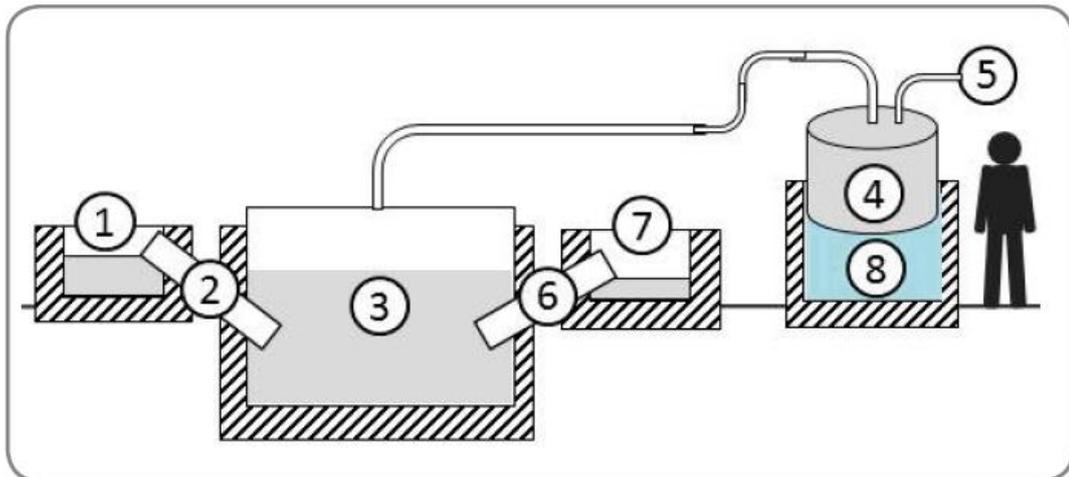


Figura 11. Biodigestor de estructura rígida y gasómetro externo.

Fuente: Avila *et al* (2016)

A continuación, se detalla la leyenda de la Figura 11:

1. Tanque de alimentación
2. Tubería de carga del sustrato
3. Cámara de digestión
4. Gasómetro externo
5. Salida de biogás
6. Tubería de descarga
7. Cámara de acopio digerido (biol y biosol)
8. Estanque con agua

**Tabla 11.** Características de un biodigestor de flujo inducido, estructura rígida y gasómetro flexible

Material	Aplicación	Ventaja	Desventaja
Estructura de Hormigón o Acero impermeabilizado, Cubierta flexible de Geomembranas EPDM, PVC, HDPE.	Todo tipo de desechos orgánicos.	Alta eficiencia en relación a sistemas sin calefacción y sin agitación como los anteriores citados. Vida útil 20 años (aproximadamente). Recomendado para procesos industriales.	Altos costos de inversión en relación a los sistemas anteriormente citados, alta tecnología instalada (agitación, calefacción).

Fuente: Avila *et al* (2016)

En la Figura 12, se representa un esquema de las partes de un biodigestor de flujo inducido, estructura rígida y gasómetro flexible.

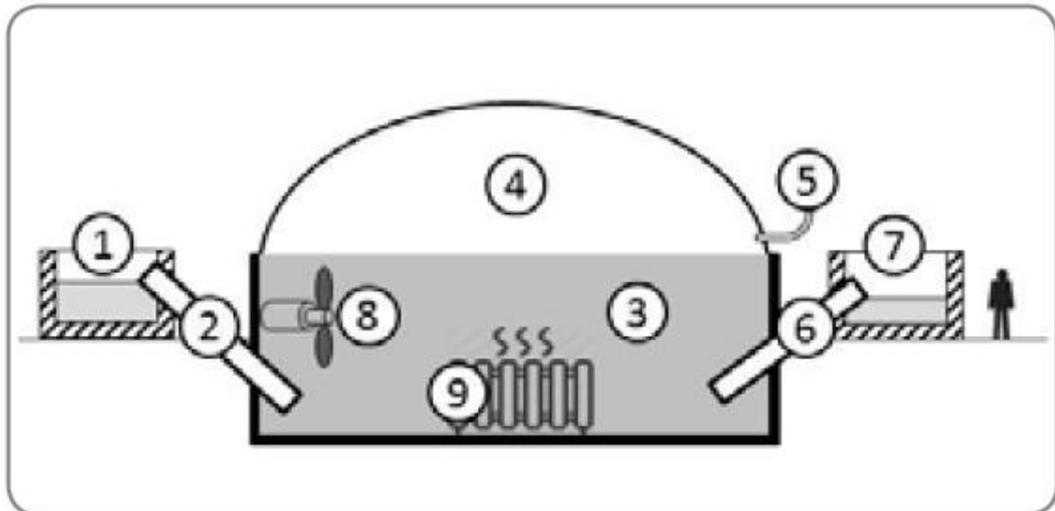


Figura 12. Biodigestor de flujo inducido, estructura rígida y gasómetro flexible.

Fuente: Avila *et al* (2016).

A continuación, se detalla la leyenda de la Figura 12.

1. Tanque de alimentación
2. Tubería de carga del sustrato
3. Cámara de digestión
4. Gasómetro flexible
5. Salida de biogás
6. Tubería de descarga
7. Cámara de acopio del digestado (biol y biosol)
8. Agitador
9. Calefacción

### **El biodigestor tipo laguna**

Según Romero (2014), el biodigestor tipo laguna es un recinto hermético sellado con geomembrana de PVC, normalmente de 1 mm de espesor de alta resistencia a los rayos ultravioleta (UV), que permite procesar alta carga orgánica, donde se lleva a cabo la descomposición de los purines mediante el proceso anaeróbico; el 75% representa el volumen sólido y el 25% es acumulado en la cúpula del biodigestor (biogás). El biodigestor cuenta con tuberías de PVC reforzadas de baja presión, que incluye el kit de válvulas de operación, descarga y seguridad, para los afluentes, asimismo contará con lagunas de descarga para para el biol. La presión interna del biodigestor debe  $\leq 3$  mbar. Hay riesgo de que la membrana se suelte de los amarres o se rasgue, en caso se exceda esta presión.



*Figura 13.* Biodigestor tipo laguna cubierta.

Fuente: Empresa Aqualimpia Engineering e.K. (AQL).

Para la instalación del biodigestor tipo laguna es necesario conocer las dimensiones de la laguna, el diseño por el criterio del tronco de pirámide invertida, la cual será cubierta con geomembrana de 1 mm de espesor es muy usual, según consideraciones en el informe del United States Environmental Protection Agency (2001).

Para Peralta (2005), para las geometrías rectangulares la longitud dependerá de la profundidad, la anchura deseada, y la inclinación de los taludes. Sin embargo, una laguna no debería tener un largo más de 4 veces el ancho para asegurar una mezcla adecuada, por lo que se recomienda aplicar relaciones ancho/largo de 1:2 a 1:4, siendo 1:2 la relación más adecuada para conseguir una mezcla más completa. La altura de la laguna dependerá de la capa freática del lugar donde se quiere instalar el biodigestor tipo laguna, si la capa freática se encuentra a 7 m. de la superficie de la tierra se recomienda no excavar la tierra porque esto produciría filtraciones en el biodigestor. Según la firma estadounidense para Metcalf & Eddy, recomienda la variación de altura para lagunas anaeróbicas en un rango de 2,4 a 8 metros.

Según Braun (2013), respecto al talud, la laguna se contará con pendientes que proporcionen estabilidad duradera acorde al estudio de mecánica de suelos. Se recomienda un talud de aproximadamente 2:1 (horizontal/vertical) y contar con un parapeto de 0.6 metros de alto por 1 m de ancho para evitar la entrada de agua de lluvia.

Según la United States Environmental Protection Agency (2001), la cúpula del biodigestor está descrita por la función de una parábola.

La ecuación para calcular la altura está relacionada con la ecuación (19), la cual determina el volumen de la cúpula ( $V_{cúpula}$ ):

$$V_{cúpula} = A_{cupula} * L * 1,25 * 1,05 . \quad (19)$$

donde:

$V_{cúpula}$ : Volumen de la cúpula, ( $m^3$ ), el cual coincide con la producción de biogás al día.

$A_{cupula}$ : Área de la sección de la cúpula, ( $ft^2$ ).

L: Longitud mayor del biodigestor, ( $ft$ ).

1,25: Factor que representa la expansión volumétrica en el suelo para cortar/rellenar.

1,05: Factor que tiene en cuenta 5% de liquidación después de la compactación.

El biogás generado al día toma lugar en el volumen de la cúpula del biodigestor, el cual es representado en la Figura 14 (véase la página 53).

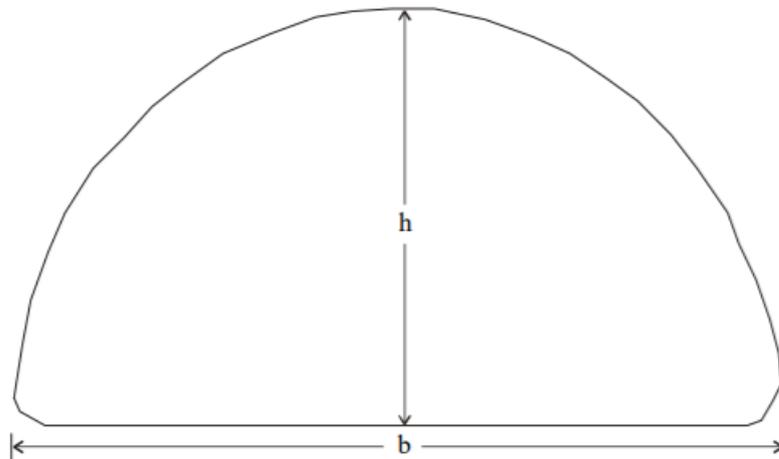


Figura 14. Área de la sección de la cúpula del biodigestor.

Asimismo, el área de la sección de la cúpula será calculada mediante la ecuación (20).

$$A_{cupula} = \frac{2}{3} * b * h . \quad (20)$$

donde:

$A_{cupula}$  : Área de la sección de la cúpula,  $m^2$ .

$b$  : Base de la sección, (m).

$h$  : Altura de la cúpula, (m).

Por otro lado, el volumen del biodigestor tipo laguna cubierta se puede estimar según el tipo de sustrato que produce y la cantidad de animales que se tiene. En la Tabla 12 se muestran especificaciones técnicas de biodigestores instalados por la empresa CIDELSA.

**Tabla 12:** Especificaciones técnicas de la construcción de biodigestores tipo laguna cubierta.

<b>Especificaciones</b>			
<b>Nº de animales</b>		<b>Medidas (m)</b>	<b>Volumen</b>
<b>Cerdos</b>	<b>Bovinos</b>	<b>Biodigestor</b>	<b><math>m^3</math></b>
Hasta 100	Hasta 30	4 x 7 x 2	30
101 a 200	31 a 60	5 x 10 x 2	60
201 a 300	61 a 100	6,5 x 12 x 2	90
301 a 500	101 a 150	8 x 16 x 2	150
501 a 800	151 a 300	8 x 18 x 2	250
801 a 1200	301 a 500	8 x 18 x 4	350

Fuente: Empresa CIDELSA 2009.

### **Tuberías de carga y de descarga**

Según Romero (2014), las tuberías de carga conducen la biomasa del tanque de alimentación al fondo del biodigestor (a unos 50 – 100 cm del fondo). Esta descarga debe ser por debajo del 50% de la profundidad del biodigestor. No deben de contar con codos o curvas, en lo posible, para una limpieza práctica en caso de obstrucciones. Por otro lado, el biol o digestato es extraído por las tuberías de descarga degradado. Se recomienda usar dos tuberías de descarga de diámetro mínimo de 100 mm de acero galvanizado, PVC o PEAD. Las tuberías de PVC (ya sea para carga o descarga), deben ser del mismo tipo que se emplean para sistemas de agua potable, por ser más resistentes a aguas agresivas. Algún mecanismo de limpieza de la tubería de descarga debe ser

previsto, como una T, por ejemplo. El inicio de las tuberías de descarga, es ubicado aproximadamente al medio de la profundidad del biodigestor. En biodigestores alimentados y descargados por gravedad, la tubería de descarga regulariza el nivel del biodigestor.

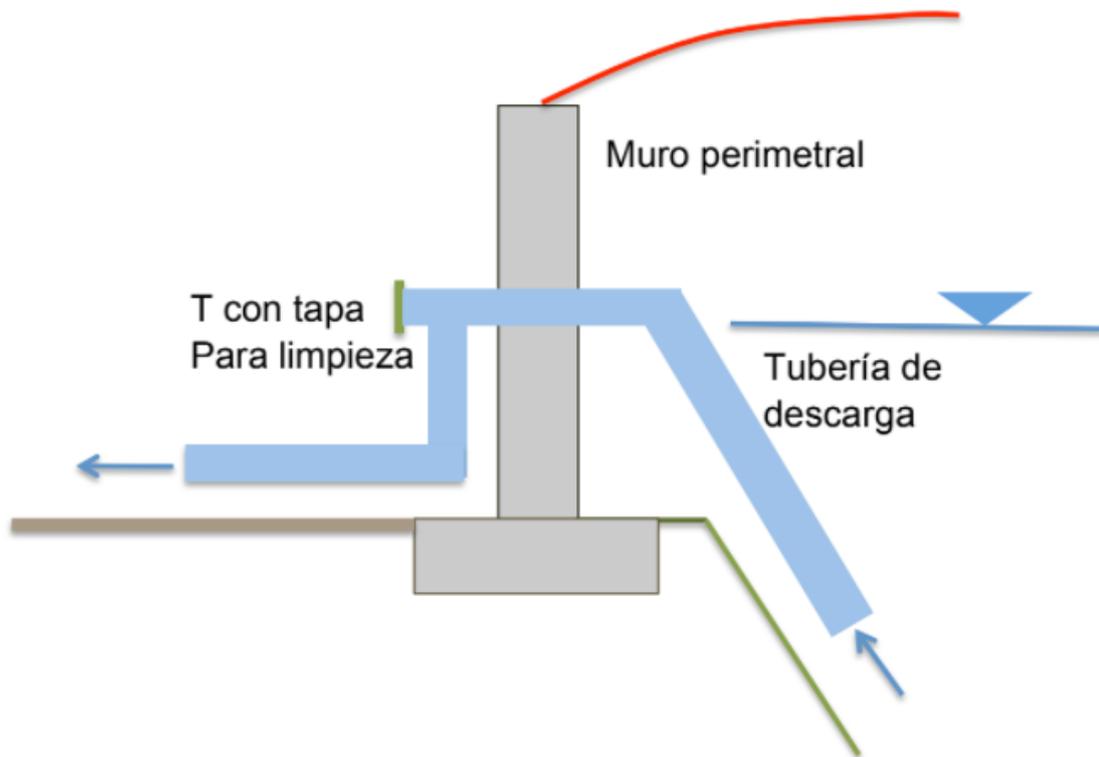


Figura 15. Biodigestor tipo laguna cubierta.

Fuente: Empresa Aqualimpia Engineering e.K. (AQL).

Según Pezo, Velásquez, Acosta y Veen (2011), en cada conexión de las tuberías de carga se coloca una válvula compuerta, estas son conectadas por medio de 2 uniones universales cada una, alternarlas o reponerlas en caso de conflictos.

### **Sistema de agitación**

Según Varnero (2011), el aumento de la producción de biogás y la disminución del Tiempo de Retención Hidráulica (THR) se logra con la agitación, esta puede ser:



*Figura 16.* Sistema de agitación.  
Fuente: SUMA America Inc.

Según Quiroz (2017), como regla general para su dimensionamiento, la potencia del motor del equipo se debe considerar entre 5 - 8 Watts por superficie superior de reactor [ $\text{W}/\text{m}^2$ ].

### **Tuberías, válvulas y accesorios del biogás**

Según Romero (2014), la toma del biogás puede ser por el muro perimetral o de la misma geomembrana que cubre el biodigestor. Las tuberías de captación de biogás se dimensionan dependiendo del volumen de biogás generado, de ello también determina la cantidad de tuberías de captación. las velocidades máximas de las tuberías y el volumen de biogás ayudan a determinar el diámetro de las tuberías. La velocidad debe ser  $\leq 3,5$  m/s. Se deberá hacer el cálculo hidráulico, es recomendable tener, al menos, dos tuberías de captación de biogás. Se sugiere instalar 2 tuberías de 25 mm, por lo menos, en biodigestores de capacidad  $\leq 50$   $\text{m}^3$ , en biodigestores de  $\geq 100$   $\text{m}^3$ , el diámetro debe ser de  $\geq 50$  mm, aunque es recomendable usar tuberías con  $\Phi \geq 75$  mm. La tubería de biogás que atraviesa el muro perimetral debe contar con inclinación hacia el biodigestor por el condensado a formarse, el resto debe contar con una pendiente  $\geq 0,5\%$ , evitando vértices en el recorrido, para no acumular condensados que dificultan el movimiento del biogás. Una tubería en J puede ayudar en caso haya cambios de pendiente, para drenar los condensados. es requisito verificar la estanquidad de la tubería y evitar fugas de biogás. La distancia para la captación de biogás debe ser de, por lo menos, 0,30 m por encima del nivel de llenado (tope) del biodigestor.

Según Pezo, Velásquez, Acosta y Veen (2011), de contar con un sistema de dos válvulas para interconectar la captación del biogás desde el biodigestor a la línea principal de transporte de biogás, será necesario contar con un medio para la eliminación de H<sub>2</sub>S generado en la digestión anaeróbica. Aguas abajo se tendrá un medio para la eliminación de los condensados de agua generados en tramos donde la línea de conducción tenga valles. La línea de conducción debe contar con un soplador (blower) para aumentar la presión de ingreso hacia los equipos, así como un sistema para medir el caudal de biogás, que podría ser un flujometro.

Para el cálculo del diámetro de las tuberías se hace uso de la ecuación (21) (García, 2016).

$$D(m) = \sqrt{\frac{4*Q}{\pi*v}} \quad (21)$$

donde:

$v$ : Velocidad del flujo recomendada (m/s)

$Q$ : Caudal volumétrico de biogás ( $\frac{m^3}{s}$ )

$D$ : Diámetro interior de tubería-diseño (m)

Para Varnero (2011), la válvula de seguridad es un disco con peso calibrado y cargado con arandelas, la combinación de estos pesos debe ser igual a la presión del biogás, y estos son comúnmente equivalente a 15 - 20 cm de columna de agua. Si la presión del biogás en el biodigestor es mayor a este límite, la válvula actuará y permitirá la fuga de gas durante alrededor de 2 minutos. Esto evitará que se rompa el cierre de agua o que ocurran daños mayores, este cierre se puede romper cuando la salida del gas sea muy lenta o la alimentación de la biomasa sea excesiva.

Según Romero (2014), la función de la válvula de seguridad es controlar en la operación la presión en el biodigestor y evitar posibles daños en las geomembranas de la cubierta por inflarse demasiado. (Aqualimpia, 2017); la válvula de seguridad operará cuando la geomembrana pueda superar la tenacidad a la máxima presión del diseño (5 mbar), las presiones de trabajo recomendadas son 2,5 y 3 mbar.

Para Quiroz (2017), presiones máximas admisibles, caudales máximos volumétricos y los parámetros de proceso son requisitos para la selección de la válvula de seguridad.



Figura 17. Válvula de seguridad de referencia.

Fuente: Empresa Aqualimpia Engineering e.K., revisado el 2021

Según Varnero (2011), la válvula rompedora de vacío opera de forma similar, pero alivia las presiones negativas para impedir que el biodigestor colapse.

### **Control del proceso**

Los puntos de muestreo para el afluente y efluente, deben permitir verificar el pH, el Redox, la producción de biogás temperatura interna, y otros parámetros, en la operación del biodigestor. (SEMARNAT, 2010). El control del proceso para el biogás se lleva a cabo mediante el tren de calibración, el cual está ubicado en línea de biogás.

### **Antorcha**

Para Varnero (2011), este elemento elimina el exceso de gases en el sistema. Cuenta con un quemador piloto de quemado continuo, para quemar el exceso de biogás que pase por el regulador.

Según Romero (2014), el caudal máximo de diseño por día ayudará a seleccionar la antorcha, esta debe ser de 3,5 m de alto como mínimo. La antorcha debe ser resistente a la oxidación y de alta resistencia estructural (acero inoxidable o galvanizado 316 o 318).

Se recomienda considerar su instalación a, por lo menos, 30 metros del biodigestor. (Semarnat, 2010).

Según Quiroz y de la Cerda (s.f.), los quemadores pueden ser abiertos y cerrados. La llama del biogás combustionado en un quemador abierto es visible, mientras que uno cerrado la llama es oculta. Un quemador abierto es instalado a alturas considerables; mientras que un quemador cerrado, a nivel del piso.

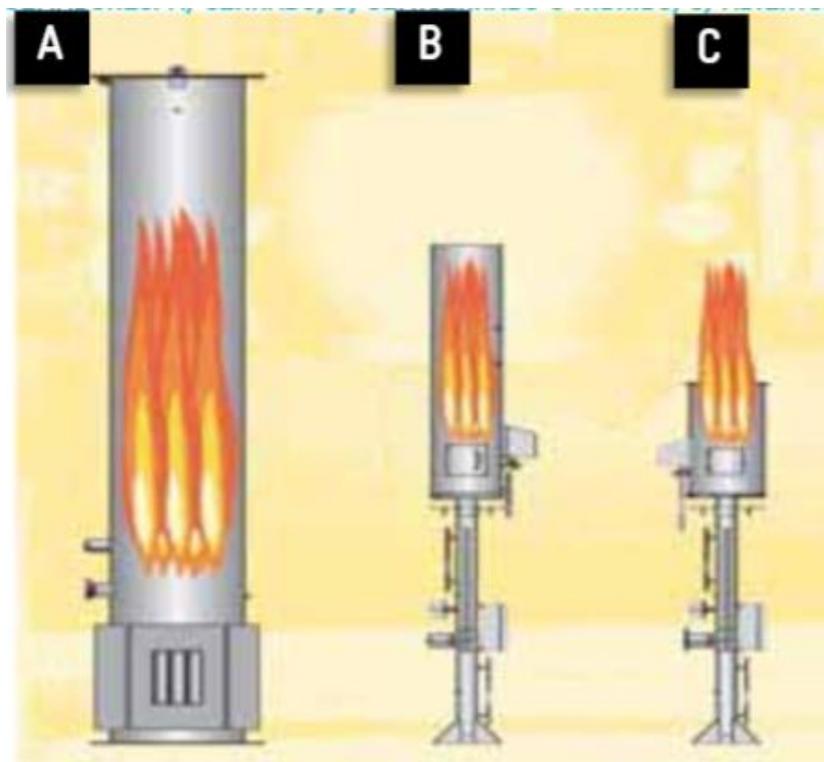
En la Tabla 13 (véase la página 60) se muestran las ventajas y desventajas de los quemadores abiertos y cerrados.

**Tabla 13.** Ventajas y desventajas de los quemadores abiertos y cerrados

Ventajas	Desventaja
<b>quemadores abiertos</b>	
Son más económicas	La flama al ser visible, genera impacto en la población
La flama es visible, lo que permite un control visual a distancia	Al ser esvelta en un país sísmico como Perú, obliga a una fundación de mayor envergadura.
<b>quemadores cerrados</b>	
Son más seguras	Tienen un costo más elevado
Requieren fundaciones más pequeñas (centro de gravedad más bajo)	La llama no es visible para el operador
Mantenición más fácil (quemadores a nivel de piso)	

Fuente: Hernán Quiroz Marchan

Según López, Ramírez, Gomes y Morgan (2017), también existen quemadores semicerrados que generalmente, no incluyen aislamiento con cámara de combustión pequeña y la llama es visible en ciertos modelos.



*Figura 18.* Tipos de quemadores: a) Cerrado, b) Semicerrado o híbrido, c) Abierto.  
Fuente: Adaptado por López *et al* (2017) de RIRDC (2008).

Según Romero (2014), las antorchas pueden encenderse manual o automáticamente, comandado por un presostato, las partes de una antorcha son como mínimo:

- Válvula rápida de cierre.
- Válvula solenoide de apertura lenta y cierre rápido.
- Válvula anti explosión.
- Sensores de presiones máximas y mínimas.
- Encendido automático o manual.

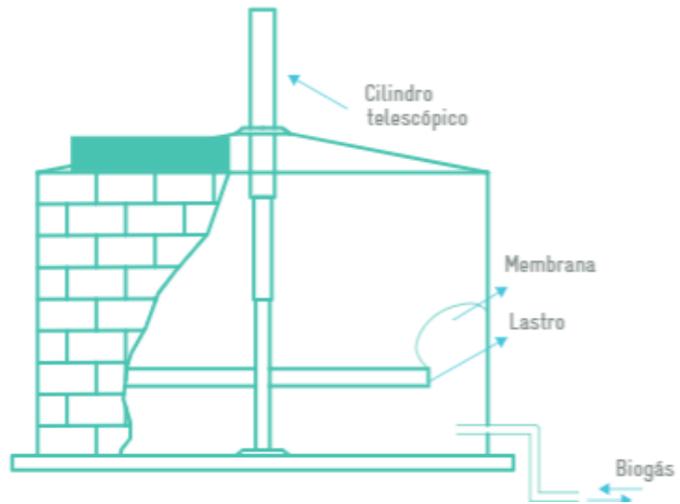
### **Almacenamiento de biogás (gasómetro)**

Para Varnero (2011), el biogás de la digestión anaeróbica puede almacenarse en un gasómetro apartado del biodigestor o en la parte superior de éste mismo.

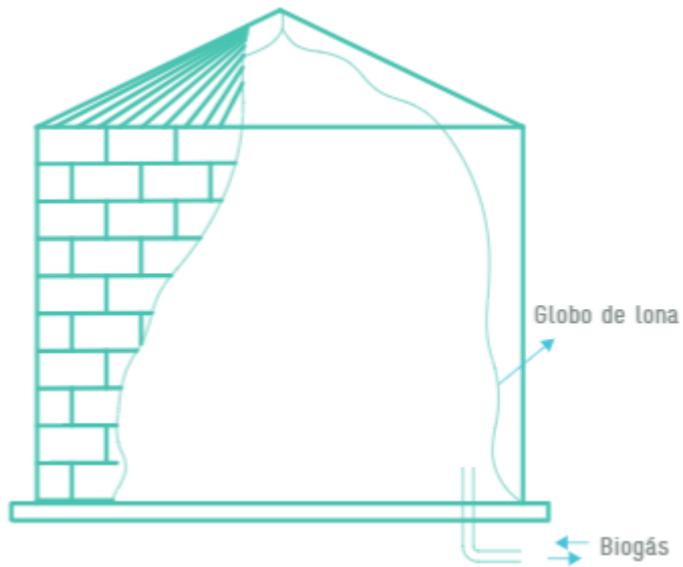
Según López et al. (2017), el almacenamiento de biogás es clasificado, de acuerdo los siguientes rangos de presión:

- No presurizado: 0 kPa – 0,1kPa (1 mbar) - normalmente requiere de soplador.
- Baja presión: 1 kPa - 5 kPa (10 - 50 mbar)
- Alta presión: 0,1 MPa - 1 MPa (1 - 10 bar)

Según López et al. (2017), es recomendado el uso de almacenamiento de baja presión o sin presión en plantas pequeñas y medianas. En operaciones de almacenamientos a baja presión o sin presión, el biogás demanda una baja compresión y, por lo tanto, los gasómetros inflables deben ser seleccionados. Mientras que, en operaciones a alta presión puede(n) ser necesario(s) tanque(s) rígido(s) de volumen constante que mantengan al biogás comprimido a diferentes presiones. En la Figura 19, Figura 20, Figura 21, Figura 22 (entre las páginas 61 y 63) se muestran las variedades de gasómetros más comunes.



*Figura 19.* Gasómetro con membrana y peso muerto/lastro.  
 Fuente: Empresa DWA M 363 (2010).



*Figura 20.* Depósito de biogás no presurizado.  
 Fuente: Empresa DWA M 363 (2010).

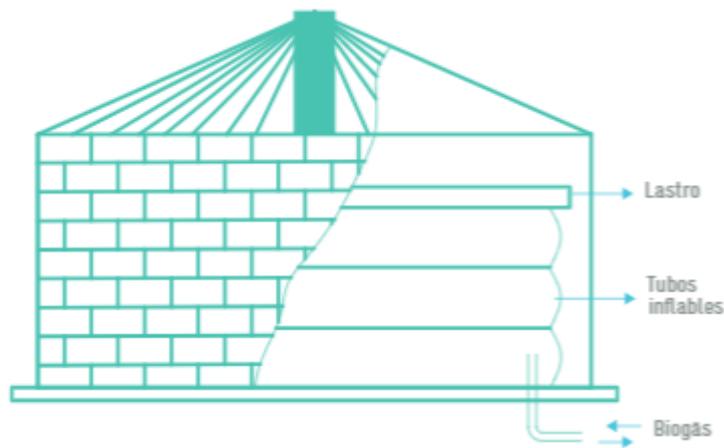


Figura 21. Gasómetro con tubos inflables (con lastre).

Fuente: Empresa DWA M 363 (2010).

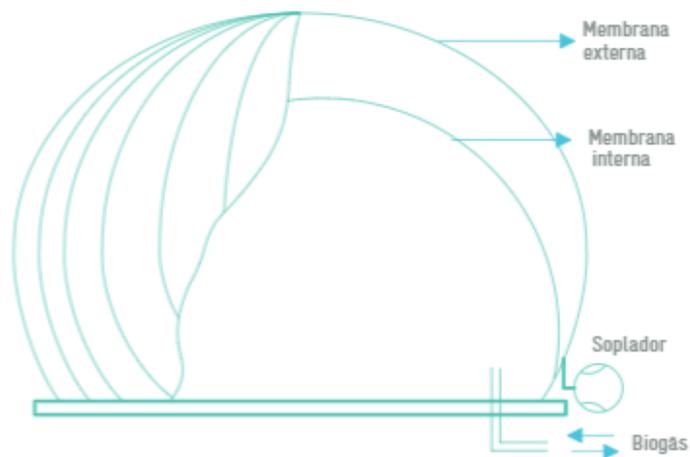


Figura 22. Tanque de biogás con membrana doble sometida a aire comprimido.

Fuente: Empresa DWA M 363 (2010).

Acorde a la empresa Sattler (s.f). Un gasómetro de doble membrana aplica un efecto desde la membrana exterior sobre la interior, que se traslada al suministro de gas a la red de distribución. Una válvula de seguridad sirve de protección contra una sobrepresión en el gasómetro. Para mantener una presión uniformizada en el gasómetro, se instala una válvula que regule la presión del caudal de aire. La medición del nivel del gasómetro se da por longitud y por ultrasonido. Véase en la Figura 23, en la página 64, las partes de un gasómetro de membrana doble.

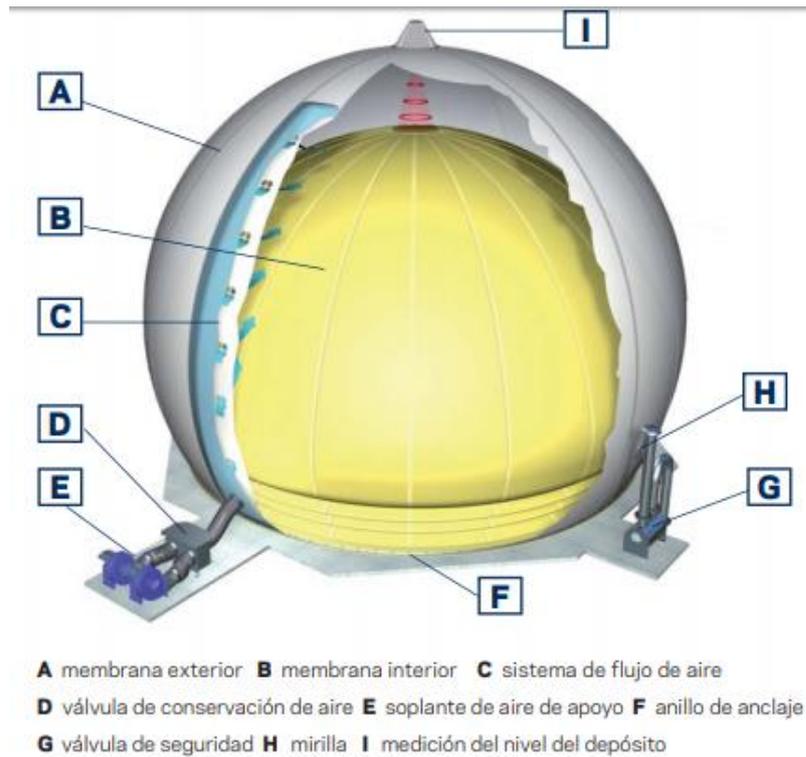


Figura 23. Partes de un gasómetro de membrana doble  
 Fuente: Empresa Sattler, revisado el 2021

Según Quiroz (2017), el volumen del gasómetro es calculado por la ecuación (22) junto a un factor de seguridad (F.S) entre 10% a 20%.

$$\text{Volumen del gasómetro} = \dot{Q}_{\text{biogás}} * (1 - T_c) * 0,24 . \quad (22)$$

donde:

$\dot{Q}_{\text{biogás}}$ : Caudal del biogás producido al día  $\left(\frac{m^3}{\text{día}}\right)$

$T_c$ : Fracción de tiempo diario de consumo de biogás

### Laguna de descarga

Según Varnero (2011), un biodigestor de tipo cubierto puede contar con 3 a 5 tubos de sobrenadante, o solo 1 tubo con válvulas a distintos niveles, para extraer este. Siempre se pretende que el efluente extraído contenga la menor cantidad de sólidos posible.

Para Romero (2014), el volumen que ingresa al biodigestor y del uso del efluente de este influyen en el volumen de la laguna de descarga. La ubicación de las lagunas de descarga es en zonas bajas del terreno, por debajo del biodigestor, para que la descarga se dé por gravedad, con profundidad entre 1 a 1,5 m. Estas son hechas con fondo de hormigón, de membrana o ladrillo o bloque de hormigón reforzado. Las lagunas deben estar cubiertas de material impermeable. Alrededor de la laguna, asimismo, deberá de contar con acera perimétrica para evitar sedimentos arrastrados por las lluvias. Las lagunas de descarga almacenarán entre 1 a 2 días el efluente del biodigestor. Los biodigestores pueden degradar hasta el 75% de la carga orgánica. Por lo que el 25 % restante se degradará en las lagunas de descarga (teóricamente), si son dimensionados en base a la COV.

### **El lecho de secado**

Según Suero (2016), el lecho de secado de lodos es una opción para la disposición de lodos de operación práctica por lo que es recomendable en plantas de bajos caudales. esta tecnología requiere de área suficiente para su operación.

Para Varnero (2011), las tuberías de extracción de lodos cuentan con una inclinación del biodigestor son colocadas sobre bloques a lo largo del suelo. Estas tuberías son de 15 cm de diámetro, generalmente o van contemplan válvulas tapón para impedir obstrucciones.

Según Romero (2014), los beneficios del proceso de secado son: costos de instalación y operación económicos (bajo consumo de energía eléctrica), práctico de operar, altos contenidos de sólidos, opera con variables tipos de lodos, no se usan químicos y de estructuras simples

Según Romero (2014), los lechos son de ladrillo u hormigón con paredes de hasta 0,60 m de alto y que pueden ser de hasta 1 m (volúmenes grandes). La base cuenta con filtros de grava y arena y sobre esta capa de arena se colocan

ladrillos, bajo la grava se ubican tuberías de drenaje de al menos 100 mm de diámetro y con pendiente de 1% o más. El lecho se ubica en zonas más altas del biodigestor, por lo que la descarga es mediante bombas de lodos. Mientras que la descarga de lixiviados se realiza por gravedad del lecho de secado de lodos hacia el biodigestor. Entre 70 al 75% de la masa volátil se transforma en biogás y el resto se sedimenta en el biodigestor, ello más los restos de arena, tierra y material extraño que alimenta el biodigestor debe descargarse en el lecho de secado de lodos, estos parámetros ayudan a su dimensionamiento; asimismo es necesario considerar la tasa de aplicación de lodos (TAL), que depende de la temperatura ambiente. La TAL es  $\approx 25 \text{ kg/m}^2$  para temperaturas  $< 21^\circ\text{C}$ . Estos valores estimados deben ser validados con ensayos para cada caso. Para determinar las dimensiones del lecho, no se cuenta con una fórmula exacta, para cada caso, estas deben corregirse, de acuerdo a las condiciones medioambientales y características de los lodos. Se cubrirá el lecho de secado de lodos, si las condiciones ambientales así lo requieren. La cantidad de lodos a extraer del biodigestor, depende del porcentaje de dilución, tipo de biomasa y el periodo en que se da la descarga.

Según Miranda (2014), la bomba de lodo es de tipo centrifuga que aprovecha la energía mecánica de una máquina eléctrica, térmica o de combustión interna para transferirla a un fluido como energía hidráulica, la cual permitirá el flujo del fluido de un lugar a otro, variando la velocidad, caudal y presión.

Según Peralta (2005), el lodo generado en el biodigestor, presenta una densidad entre  $1060 \text{ Kg/m}^3$  y  $1300 \text{ Kg/m}^3$ .

Según Cruz (2015), el valor de la viscosidad dinámica para el lodo es de  $0,0046 \text{ (kg.m/s)}$ . Asimismo, la velocidad en la tubería de bombeo de lodos para el diseño debe estar comprendido entre  $0,6$  a  $2,4 \text{ m/s}$ , con la finalidad de evitar que el lodo sedimente. Asimismo, el cálculo de la potencia del motor se determina mediante la ecuación (23):

$$P_B = \frac{c \cdot \gamma \cdot Q_B \cdot h_B}{75 \cdot \eta} \quad (23)$$

donde:

- P<sub>B</sub>:** Potencia de la bomba (CV)  
**c:** Coeficiente para aguas sucias (c=1,25)  
**γ:** Peso específico del purín (kg/dm<sup>3</sup>)  
**Q<sub>B</sub>:** Caudal a elevar (l/s)  
**h<sub>B</sub>:** Altura manométrica (m)  
**η:** Rendimiento de la bomba (70%)

### Otros detalles y consideraciones para el diseño

#### - Geomembrana

Las geomembranas son, generalmente, negras, de polímeros con una composición química de cloro, hidrógeno y carbono, los más conocidos son de HDPE y PVC por ser transportados y manipulados fácilmente. Estos son utilizados en biodigestores, piletas, rellenos sanitarios, piscinas, etc.

En la Tabla 14, se muestran las especificaciones técnicas mínimas consideradas en la selección de geomembrana que se deberán cumplir en base a las normas americanas (ASTM) u otras normas equivalentes, según SEMARNAT (2010).

**Tabla 14.** Especificaciones técnicas mínimas consideradas en la selección de geomembrana

Propiedad	Unidad	Valor Nominal
Densidad	Kg/m <sup>3</sup>	940
Resistencia al desgarre	N	210
Resistencia al Límite Elástico	N/mm	25
Estiramiento el Límite Elástico	%	13
Resistencia a la rotura	N/mm	43
Estiramiento a la rotura	%	700

Fuente: SEMARNAT (2010).

Según SEMARNAT (2010), el proveedor deberá de asegurar que la geomembrana cumpla con las condiciones del proyecto, tanto para las propiedades medioambientales (radiación ultravioleta, temperatura y humedad, etc.), como para las del sistema (presión, características del biogás, etc.). Por su parte, el instalador debe certificar las pruebas destructivas de rendimiento e iniciales acorde a normas o lineamientos internacionales o nacionales, en caso aplique, (ASTM, GRI-GM). La soldadura de la geomembrana deberá ser por el método de termofusión en los traslapes, mientras que para las zonas perimétricas y en zonas donde la soldadura presente defectos a ser reparados, deberá de recurrirse a la soldadura por extrusión.

#### - Filtro de sulfuro de hidrógeno y agua

Para SEMARNAT (2010), La descomposición de los purines mediante el proceso anaeróbico produce sulfuro de hidrógeno y agua, los cuales generan oxidación a los equipos de generación del biogás, para poder prevenir estos daños se necesita minimizar la concentración del sulfuro de hidrógeno y del agua. El filtro de sulfuro depende del biogás producido y la concentración del sulfuro de hidrógeno en ppm, este debe ubicarse antes del flujómetro de biogás para proteger a los equipos de la corrosión.

Según Huertas (2019), la concentración de H<sub>2</sub>S, para el caso de purines de porcinos, es 0,3% o 3000 ppm en promedio y considerando la densidad del H<sub>2</sub>S de 1,42 kg/m<sup>3</sup> y como límite de absorción del hierro de 56%, la masa requerida de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> es determinada por la ecuación (24):

$$M_{Fe_2O_3} = \text{Prod. de biogás} * [C_0]_{H_2S} * \rho_{H_2S} * \frac{100}{56} * 1,20. \quad (24)$$

donde:

$M_{Fe_2O_3}$ : Masa teórica de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> requerida en kg.

Prod. de biogás: Producción de biogás en m<sup>3</sup>/día.

$[C_0]_{H_2S}$ :	Concentración en promedio de $H_2S$ en ppm o, como en este caso, en %.
$\rho_{H_2S}$ :	Densidad del Sulfuro de Hidrógeno.
100/56:	Valor debido a que el límite de absorción del hierro es de 56%.
1,20:	Debido a que en la práctica se toma como medida de seguridad dimensionar la masa con un 20 % más.

Para determinar la concentración real de  $H_2S$ , se recomienda utilizar el medidor de gas MX6 Ibrid, el cual puede medir hasta 6 gases simultáneamente, con memoria y capaz de medir hidrógeno de azufre,  $CO_2$ , gases inflamables y  $O_2$ . (PCE Ibérica, s.f.).<sup>1</sup>



Figura 24: Medidor de gas MX6 Ibrid.

Fuente: Empresa PCE-Ibérica

<sup>1</sup> PCE Ibérica (en línea) (consultado en: 30 de julio 2021). Disponible en: <https://www.pce-iberica.es/Catalogo/catalogo-gas.pdf>



Figura 25: Filtro de Sulfuro de Hidrógeno.

Fuente: Empresa Viogas S.A

#### - **Condensador vapor de agua**

Según Varnero (2011), en el recorrido del biogás, el cual se encuentra húmedo, por la tubería, por diferencias de temperaturas se forman condensados que impedirá que el gas circule, dañará los equipos e interferirá en su uso, por lo que esta agua debe recolectarse. El condensador capturaré el agua del biogás a temperatura ambiente.

#### **2.3.7 El biol**

El valor de su efluente final es un atractivo del biodigestor por los compuestos nitrogenados de este residuo los cuales tienen propiedades fertilizantes. El biol es utilizado por fertirriego como abono orgánico en la agricultura agregando al suelo nutrientes de estos residuos no aprovechados por los cerdos, aportando un valor agregado importante. (Blanco, D. et al., 2015).

#### **2.4 Definición de términos básicos**

- Acidogénesis: Etapa del proceso de la digestión anaeróbica en la que los compuestos simples son descompuestos mediante bacterias ácidas,

estas, producen ácidos libres de cadenas corta como producto final, en su mayoría Ácido Acético. (SEMARNAT, 2010).

- Biodigestor: Son equipos herméticos, cerrados e impermeables, que permiten transformar, anaeróbicamente, los residuos orgánicos en combustible como el biogás conocido también como “gas de los pantanos” y en fertilizante líquido, conocido como biol. (Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2016).
- Biogás: Es una mezcla de gases (flujo compresible) con considerable Poder Calorífico que es producido por la descomposición anaerobia (sin presencia de oxígeno) de materia orgánica como el estiércol y la basura orgánica y por acción de un conjunto de bacterias. (SEMARNAT, 2010).
- Biol: El biol es un abono orgánico líquido que se origina a partir de la descomposición de materiales orgánicos, como estiércol de animales, plantas, frutos, entre nosotros, en ausencia de oxígeno. (Universo porcino, 2005).
- Biol de primera Generación (I-G): Según Medina, Quipuzco y Juscamaita (2015), es una mezcla generada a partir de la biodigestión anaeróbica, habiendo pasado por las etapas de hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis. Caracterizado con un pH que varía de 6 a 8 y muy bajo olor debido a que los volátiles sulfurados han sido separados en el proceso anaeróbico.
- Biol de segunda Generación (II-G): Según Medina et al. (2015), es el biol de primera generación el cual ha pasado por un proceso en el que microorganismos especializados degradan aún más los compuestos del sustrato ingresado (fermentación homoláctica). Este biol tiene un pH de 3 a 4 y una mayor cantidad de nutrientes disponibles para la planta, tanto NPK como micronutrientes, mientras que el Na se mantiene bajo.

En la Tabla 15 se muestran las características físicas y químicas del biol de primera y segunda generación.

**Tabla 15:** *Composiciones Típicas de los Biol de primera (I-G) y Segunda Generación (II-G)*

Tratamiento	pH	M.O*	C*	N*	P*	K*	Ca*	Mg*	Na*
<b>(Biol I-G)</b>	7.23	3100	1800	321	55.4	1993	601	243	560
<b>(Biol II-G)</b>	3.66	108600	63000	1876	203.4	9006	1523	1044	591

\* (mg/L)

Fuente: Medina *et al* (2015).

- **Biosol:** Según Cabos, Bardales, León y Gil (2019), es la parte sólida del biol, está constituido, básicamente, por materia orgánica no degradada y suele a ser una buena opción para la producción de cualquier cultivo, que nos ayuda a fortalecer el crecimiento con mejor calidad y sobre todo es un producto sano.
- **Descomposición anaeróbica:** Proceso biológico complejo y degradativo en el cual parte de los materiales orgánicos de un substrato (residuos animales y vegetales) son convertidos en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos, por un consorcio de bacterias y hongos que son sensibles y completamente inhibidas por el oxígeno y sus precursores. A diferencia de la digestión Aeróbica, como en el compostaje, la digestión anaeróbica apenas libera energía calorífica, la energía se almacena en forma de metano. En la Figura 26 (véase la página 73) se muestran los procesos de la digestión anaeróbica. (Universidad Politécnica de Madrid, 2015).

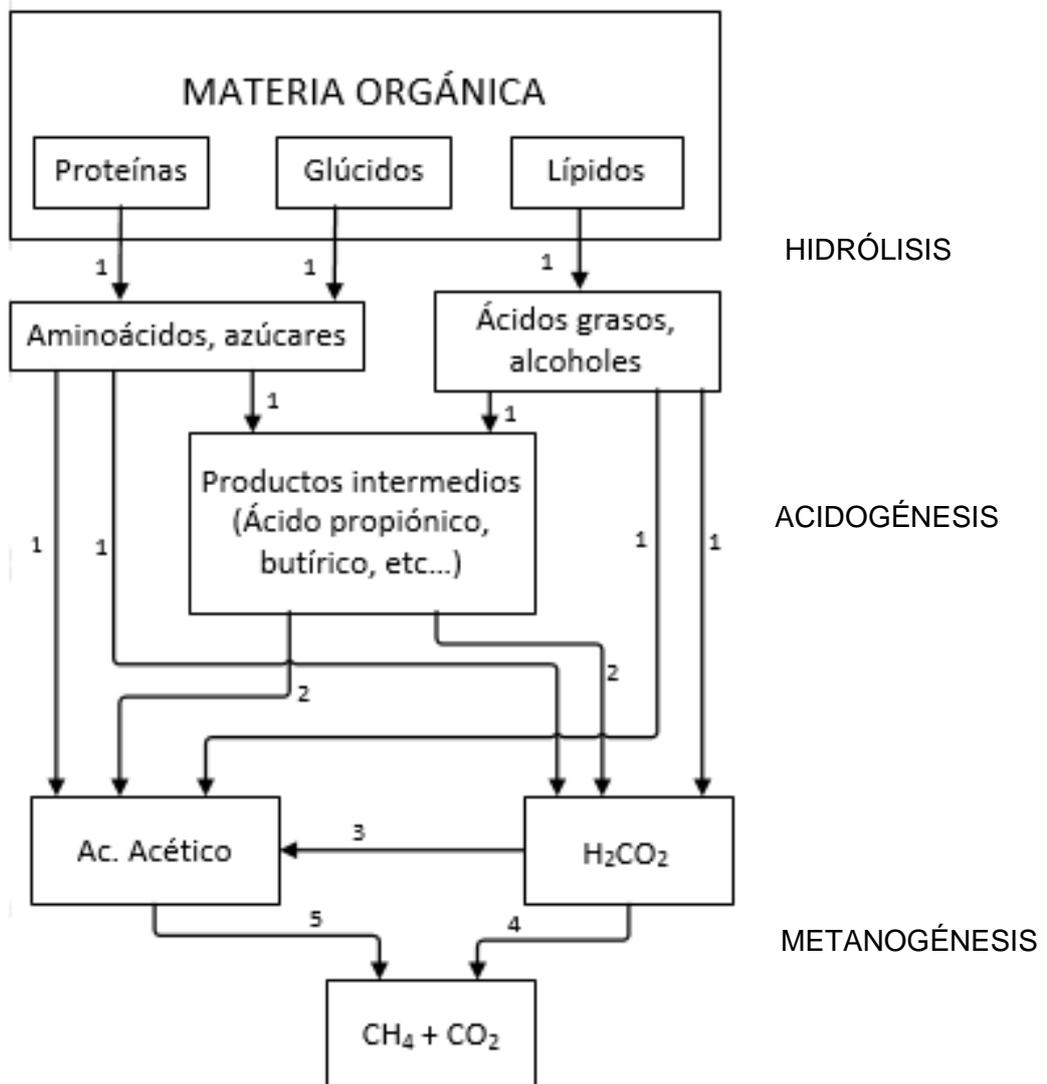


Figura 26: Procesos de la digestión anaeróbica.

Fuente: IDEA (Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía), 2007

- **Estación:** Período del año caracterizado por algo, especialmente por determinadas condiciones atmosféricas, o destinado a cierta actividad donde se miden las precipitaciones, temperatura, humedad relativa, evaporación, radiación, presión, dirección y velocidad del viento, entre otros. (Universidad Ramon Llull, 2014).
- **Energía:** Según Solbes y Tarín (2008), es la capacidad que tiene un cuerpo para generar trabajo, el mismo que se puede manifestar de distintas formas (calor, movimiento, sonido, movimiento, luz, etc.).

- Enzimas: Son catalizadores de reacciones químicas compuestos por moléculas orgánicas, es decir, aceleran la velocidad de reacción hasta alcanzar un equilibrio, (Franklin, 2011).
- Granjas de ciclo completo: Cuentan con vientres y, en su caso, con sementales para la producción de lechones, los cuales son engordados hasta su finalización para su sacrificio en rastro. (Razas porcinas, 2020).
- GLP (gas licuado de petróleo): Es la mezcla de gases condensables presentes en los líquidos del gas natural o formando parte del petróleo crudo. Los componentes del GLP, aunque a temperatura y presión ambientales son gases, son fáciles de condensar, de ahí su nombre. El GLP se obtiene en estado gaseoso y se convierte en líquido mediante compresión y enfriamiento para facilitar su manejo y comercialización. (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería , 2012).
- Hidrólisis: Según Lorenzo y Obaya (2005), es la etapa del proceso de la digestión anaeróbica en la que la materia orgánica es hidrolizada por acción de enzimas hidrolíticas producida por bacterias facultativas, transformando los compuestos complejos como proteínas, polisacáridos y grasas en compuestos simples como, aminoácidos, glicéridos, péptidos y azúcares.
- Lodos: Según Romero (2014), son llamados lodos a aquellas sustancias compuestas por una mezcla entre líquido y sólido (el contenido en sólido puede variar entre el 0,25 y el 12% de su peso), para la presente investigación, se llamará así a la parte sedimentada del sustrato (purines/agua).
- Masa Seca: Según Romero (2014), es la masa seca o sólidos totales (ST en aguas residuales), se define como la cantidad de sólidos que contiene la biomasa. Es el contenido de biomasa orgánica más la masa inorgánica que contiene un sustrato. Este valor también se define como la biomasa

seca total que se alimenta diariamente al biodigestor. El porcentaje óptimo de sólidos en la mezcla que se alimenta un biodigestor, debe ser del 8 – 12%; Los residuos con un alto contenido en sólidos pueden ocasionar en el digestor problemas de bombeo, agitación, sedimentación, formación de costras. Se requiere conocer el contenido de la masa seca para el cálculo de la cantidad de agua que debe adicionarse a la biomasa, previa a su alimentación.

$$Masa\ Seca\ (\%) = 100\% - humedad(\%) . \quad (25)$$

- Masa volátil: Según Moncayo (2014), la masa volátil o sólidos volátiles es el contenido de masa orgánica que tiene la biomasa. La masa volátil es el componente que se volatiliza después de la incineración de la masa seca, el porcentaje de los sólidos volátiles respecto al de los sólidos totales suelen variar entre el 70% - 95%. Los residuos que tienen un porcentaje inferior al 60% no suelen considerarse buenos sustratos para la digestión anaeróbica, el conocimiento de la masa volátil es importante ya que solo este porcentaje es el contenido real de la masa orgánica en la biomasa. El resto es humedad, trazas inorgánicas y otras materias que no producen biogás, Solo este contenido de MV es que produce biogás, El contenido de humedad (agua) no produce biogás, pero facilita el proceso de digestión. Según este autor, la masa volátil se determina:

$$MV(\%) = \left( \frac{MS(g) - Ceniza(g)}{MS(g)} \right) * 100\% . \quad (26)$$

En la Tabla 16 (véase la página 76) se observa los porcentajes típicos de masa seca (MS) y masa volátil (MV) para purines de distintos tipos de animales.

**Tabla 16:** *Relación de masa seca y masa volátil de acuerdo al tipo de animal*

Tipo de animal	MS (%)	MV (%)
Caballo (menores a 3 años)	28	75
Caballo (mayores a 3 años)	28	75
Vacas lecheras estiércol	8	83
Vacas lecheras	25	83
Vacas Purín	7,5	83
Terneritas hasta 4 meses	25	83
Ovejas	28	83
Cerdos	23	83

Fuente. Romero Moncayo (2014).

- **Metanogénesis:** Etapa del proceso de la digestión anaeróbica en la que las bacterias anaeróbicas descomponen los ácidos en metano. El 70% del metano proviene de la descomposición del ácido acético y el 30% restante de la reacción entre el hidrógeno y el dióxido de carbono. (SEMARNAT, 2010).
- **Mezcla:** Acorde a Siso (2015), es la agregación de varias sustancias o cuerpos que no tienen entre sí acción química la cual se forman por unión de dos a más sustancias en diversas proporciones.
- **Oligo-elementos traza:** Los oligoelementos o elementos traza son componentes presentes en los tejidos corporales en muy pequeñas cantidades que desempeñan funciones indispensables para preservar la vida, por lo que son nutrientes fundamentales, según Alarcón (2009).
- **Purines:** Según Serrano (2001), se llaman purines o estiércol que están compuestos por heces y orines de los animales, son residuos de origen orgánico con capacidad de fermentar. Para el presente documento, se trata de las excretas de los cerdos.

- Reacción Química: Para Raviolo, Garritz y Sosa (2011), es un proceso en el que dos o más sustancias (reactivos y reactantes) cambian su composición química interactuando entre sí (alterando su estructura molecular y sus enlaces) resultando otras sustancias llamadas producto.
- Residuos orgánicos: Es toda materia biodegradable compuesta de forma natural y con la propiedad de desintegrarse o degradarse en un periodo corto de tiempo, transformándose en otra materia orgánica. (Consortio Provincial Residuos Sólidos Urbanos Malaga, 2021).
- Sustrato: Según Condrea (2016), se trata de una sustancia sobre la que se ejerce la acción de un enzima involucrados en el proceso de biometanización.
- Volumen de diseño: Es el volumen bruto, aquel que resulta de operar las dimensiones (internas) de los compartimentos o tanques diseñados.
- Volumen requerido: Es el volumen útil, considerando un factor de seguridad.
- Volumen útil: Parte del volumen bruto de cualquier compartimento resultante de la resta del volumen de componentes y espacios que no son aprovechables para el almacenamiento. (INACAL, 2020).

### **III. HIPÓTESIS Y VARIABLES**

#### **3.1 Hipótesis**

##### **3.1.1 Hipótesis General**

Al diseñar una planta de producción de biogás, se logra el consumo de energía térmica para la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral, en el año 2021.

##### **3.1.2 Hipótesis Específicas**

- Si se determinan las características físicas y químicas de los purines de cerdo de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral, ello ayuda en el diseño de la planta de producción de biogás a partir de los purines de cerdo en esta empresa.
- Si se determina el actual consumo térmico y el volumen de biogás equivalente que generarán los purines, se puede cuantificar el uso directo de este energético en la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral.
- Si se define el diseño de la planta para la producción de biogás de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral, se logra el ahorro de gas licuado de petróleo que actualmente consume.
- El uso del programa BIODigestor – PRO versión 3.0 ayuda a corroborar los cálculos realizados para el diseño de la planta de producción de biogás en la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral.

### **3.2 Definición conceptual de variables**

#### **Planta de producción de biogás (Variable Independiente):**

Según Chase y Aquilano (2006), el diseño de la disposición de una planta garantiza un flujo de trabajo equilibrado con un inventario mínimo de trabajo en proceso, cada estación es parte de una línea de producción. El diseño debe contemplar la manera en que se relacionan los aspectos del sistema. Un sistema de producción, según Lopez (2016), cuenta con entrada que puede ser un insumo que sufre una transformación y una salida por lo que se obtiene un producto, que cuenta con un proceso de control. Este cuenta con la administración de operaciones. Los insumos son: materiales, capital, mano de obra, energía o información. Las operaciones, los insumos y la tecnología del proceso varían dependiendo de la industria.

Por su lado, según Russell y Adebisi (1997), el biogás es una mezcla de gases, principalmente, metano y dióxido de carbono, pero también puede contener impurezas. El material digerido y el proceso influyen en la composición real del biogás. Es necesario obtener un contenido de metano mayor a 45 % para que este sea inflamable.

Por lo tanto, una planta de producción de biogás se refiere al proceso que tiene como entrada materia que pasará por varios procesos y de salida una mezcla gaseosa formada principalmente por metano y dióxido de carbono con considerable Poder Calorífico.

#### **Energía térmica (Variable Dependiente):**

Según Serway y Jewett (2008), la energía se hace presente de varias maneras en el universo. Un proceso físico implica transferencias o transformaciones de energía. En sistemas mecánicos, sin usar las leyes de Newton se puede aplicar el concepto de energía. La energía aproximada permite entender fenómenos eléctricos y térmicos, en donde no interfieren las leyes de Newton.

Según Russell y Adebisi (1997) al arder un combustible en el aire, la energía térmica se origina por la transformación de la energía química del combustible.

La física clásica del siglo XIX, propone dividir a la energía en: mecánica (por el movimiento y la posición), electromagnética (en relación con fenómenos de magnetismo y electricidad), química (en relación con uniones químicas entre átomos), térmica (en relación con la temperatura y el calor) y nuclear (“en relación con los núcleos de los átomos). (Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la Nación de Argentina, 2007).

Por lo que podemos definir a la energía térmica como todo fenómeno que esté relacionado con el calor y la temperatura.

### **3.2.1 Operacionalización de variables**

En la Tabla 17 (véase la página 81) se muestra la relación de la variable de la investigación con los indicadores para determinar los objetivos específicos.

**Tabla 17: Operacionalización de variables**

<b>Variables</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Índice</b>	<b>Método y Técnica</b>
Variable independiente <b>V.1.</b> Planta de producción de biogás	<b>V.1.1.</b> Características físicas y químicas de los purines de cerdo	<b>V.1.1.1.</b> Análisis elemental.	✓ $\frac{\text{masa de elemento químico}}{\text{masa analizada}}$	Cuantitativo Reporte de ensayos de laboratorio
		<b>V.1.1.2.</b> Análisis proximal (termogravimétrico).	✓ $\frac{\text{contenido de humedad}}{\text{masa analizada}}$	
		<b>V.1.1.3.</b> Análisis de contenido energético.	✓ $\frac{\text{contenido energético}}{\text{masa analizada}}$	
		<b>V.1.1.4.</b> Análisis de ph.	✓ Índice de acidez	
	<b>V.1.2.</b> Diseño de la planta para la producción de biogás	<b>V.1.2.1.</b> Temperatura ambiente (°C).	✓ Grados Celsius del medio	Cuantitativo Observación, entrevista, revisión documental
		<b>V.1.2.2.</b> Cantidad de cerdos (unidades).	✓ Número de cerdos	
		<b>V.1.2.3.</b> Peso promedio por marrana (kg.).	✓ Masa unitaria promedio	
		<b>V.1.2.4.</b> Volumen de agua añadida por día (m <sup>3</sup> /día)	✓ $\frac{\text{volumen de agua}}{\text{día}}$	
		<b>V.1.2.5.</b> Producción del biogás (Nm <sup>3</sup> /día).	✓ $\frac{\text{volumen de biogás}}{\text{día}}$	
		<b>V.1.2.6.</b> Potencia del motor del sistema de agitación (hp),	✓ $\frac{\text{Potencia}}{\text{Área}} \cdot \frac{A_{\text{superficie biodigestor}}}{0,746}$	
		<b>V.1.2.7.</b> Área requerida (m <sup>2</sup> ).	✓ <i>largo x ancho</i>	

Variables	Dimensiones	Indicadores	Índice	Método y Técnica
		V.1.2.8. Área de geomembrana requerida (m <sup>2</sup> ).	✓ Área de superficie a cubrir con geomembrana	
		V.1.2.9. Diámetro de tuberías de extracción de biogás (mm).	✓ $D(m) = \sqrt{\frac{4*Q}{\pi*v}}$	
V.1.3. Validación del diseño de la planta de producción de biogás		V.1.3.1. Masa de purines producidos al día (kg/día).	✓ $MH = \frac{m_{diaria} * \text{eficiencia de recojo}}{\text{dia}}$	
		V.1.3.2. Volumen y dimensiones de la laguna del biodigestor (m <sup>3</sup> y m),	✓ Volumen del tronco de pirámide y dimensiones lineales	
		V.1.3.3. Volumen y dimensiones del tanque de alimentación (m <sup>3</sup> y m).	✓ Volumen del cilindro y dimensiones lineales	
		V.1.3.4. Volumen y dimensiones de la laguna para la descarga del biol (m <sup>3</sup> y m)	✓ Volumen del prisma rectangular y dimensiones lineales	
		V.1.3.6. Margen de error (%).	✓ $\frac{ \text{valor calculo} - \text{valor software} }{\text{valor software}} \cdot 100\%$	
				Cuantitativo Observación, entrevista, revisión documental

Variables	Dimensiones	Indicadores	Índice	Método y Técnica
Variable dependiente <b>V.2.</b> Energía térmica	<b>V.2.1.</b> Consumo de energía térmica	<p><b>V.2.1.1.</b> Masa de gas licuado de petróleo consumido por día (kg/día).</p> <p><b>V.2.1.2.</b> Energía térmica consumida por día (kWh/día)</p> <p><b>V.2.1.3.</b> Volumen de biogás equivalente al GLP consumido por día (Nm<sup>3</sup>/día)</p>	<p>✓ <math>\frac{\text{balones de GLP}}{\text{día}} \cdot \text{masa unitaria}</math></p> <p>✓ <math>Q = PC_{GLP} \times m_{GLP}</math></p> <p>✓ <math>Vol_{biogás} = \frac{\text{Energía}}{PC_{biogás}}</math></p>	<p>Cuantitativo</p> <p>Observación, entrevista, revisión documental</p>

## **IV. DISEÑO METODOLÓGICO**

### **4.1 Tipo y diseño de investigación**

#### **4.1.1 Tipo de investigación**

Según Lozada (2014, p. 34), la investigación aplicada toma hallazgos tecnológicos de la investigación básica, centrándose en la aplicación de la teoría en un producto (sirviendo de enlace).

La presente investigación es del tipo aplicada, debido a que se caracteriza por su interés en la aplicación de los conocimientos teóricos para poder determinar el diseño de una planta de producción de biogás para el consumo de energía térmica de la empresa centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral, año 2021. Resolviendo así el problema de la generación de gran cantidad de residuos orgánicos sin un adecuado tratamiento.

#### **4.1.2. Diseño de investigación**

Para Sampieri (2018), el término cuantitativo se vincula con conteos numéricos y métodos matemáticos. Para estimar ocurrencia de los fenómenos, magnitudes y probar hipótesis es idóneo usar una investigación cuantitativa.

La presente investigación tiene un diseño cuantitativo puesto que se obtienen como resultados finales valores cuantitativos como son las dimensiones y los parámetros de los componentes, equipos y accesorios que forman parte de la planta a diseñar.

### **4.2 Método de investigación**

#### **Deductivo-Analítico**

Según Rodríguez (2007), el método deductivo empieza analizando leyes postulados, teoremas, principios, entre otros, de validez comprobada y de aplicación universal, para brindar soluciones a hechos particulares. Por su parte,

un método analítico descompone un elemento de estudio desmenuzando cada una de las partes del total para evaluarlas de manera individual.

Esta investigación presenta el método deductivo, debido que a partir de las bases teóricas (de algo general) son deducidas las metodologías para el diseño de los componentes y selección de equipos y accesorios de la planta de producción de biogás para ser aplicado en el consumo de energía térmica de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral (para algo particular) y analítico, debido que fue necesario llevar a cabo el análisis de una muestra de purines en laboratorio para cumplir con los objetivos de la investigación que luego serán demostradas.

### **4.3 Población y muestra**

#### **Población:**

Según Balestrini (2006, p. 137), un conjunto de elementos, escenarios, o personas con particularidades comunes viene a ser una población.

La población de estudio de la presente investigación son los purines de cerdo de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC, por ser materia de estudio principal de este trabajo del cual se partirá para el diseño de la planta de producción de biogás.

#### **Muestra:**

Para Otzen y Manterola (2017), un muestreo aleatorio simple busca asegurar que los individuos de la población objetivo pueden formar parte de la muestra con igual oportunidad.

Según Porraz (s.f.), debido a que las superficies grandes se quedan sin muestrear o las muestras posiblemente puedan estar agrupadas, este método no asegura cubrir el área de estudio completamente.

Para la presente investigación se recurrió a un muestreo aleatorio simple, puesto que fueron 03 las muestras de purines de cerdo para el análisis de laboratorio. Además, considerando que la alimentación de las marranas de la granja cuenta con la misma composición, cada una de las muestras fue tomada de una pila de excreta diferente de manera aleatoria. Estas tres muestras fueron combinadas y se ensayó sobre una sola muestra homogénea y representativa de 0.2 kg, como se especifica en el numeral 4.6.1.

#### 4.4 Lugar de estudio

El lugar donde se realizará la investigación será en la empresa “Centro Industrial y Comercial Porcino S.A.C.” del Fundo la Quincha, ubicado en la Mz. 66 Lt. A (CICOPSAC) Ex hacienda Huaral.

Esta empresa se encuentra ubicada en la en la ciudad de Huaral, con una extensión de 2 hectáreas, sobre los 188 m.s.n.m, y entre 11°29’ 27’ de latitud Sur y 77° 12’ 15’ longitud Oeste.

Contando con un clima nublado parcialmente por la mañana. Tiempo mayormente caluroso y con incidencia de radiación solar en las tardes.

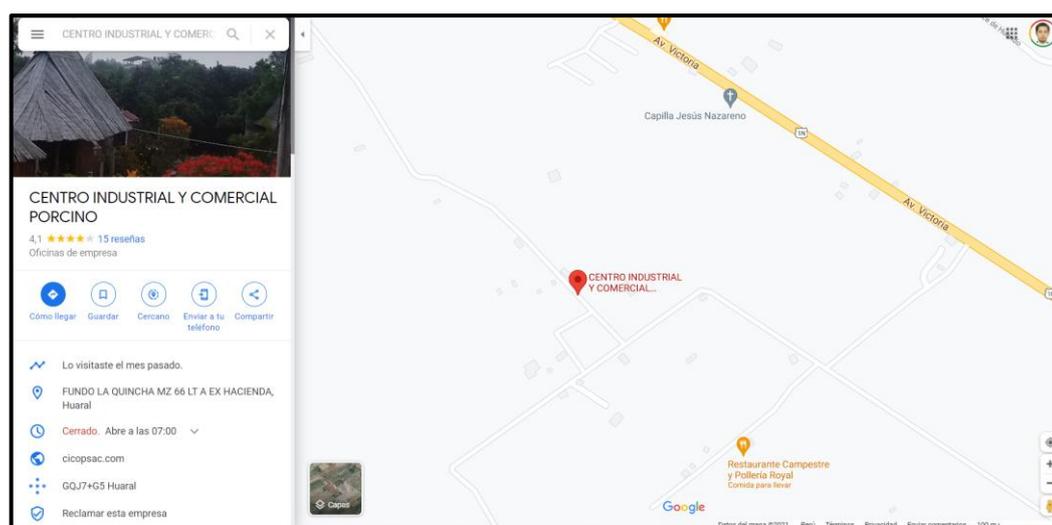


Figura 27. Ubicación geográfica de la empresa Centro Industrial y Comercial Porcino S.A.C. – Toma de acceso.  
Fuente: Google Maps, consultado en agosto del 2021.

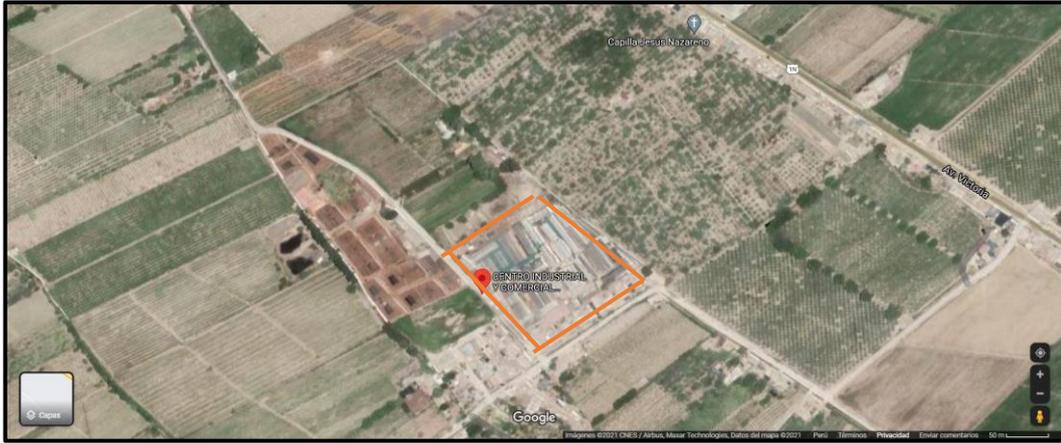


Figura 28. Ubicación geográfica de la empresa Centro Industrial y Comercial Porcino S.A.C. – Toma de relieves.

Fuente: Google Maps, consultado en agosto del 2021.

#### 4.5 Técnicas e instrumentos de recolección de información

Para la presente investigación se emplearon las técnicas e instrumentos de recolección de datos mostrados en la Tabla 18:

Tabla 18. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

TÉCNICAS	INSTRUMENTO	CRITERIOS
Revisión documental	Fichas bibliográficas	Guías de diseño, reportes de cantidad de cerdos, guías de remisión de combustibles adquiridos, plano de planta, reporte de la temperatura ambiente de la zona y catálogos de equipos.
Ensayos de laboratorio	Recolección de muestra y ensayos de laboratorio de los purines de los cerdos	Análisis elemental, análisis proximal, análisis de contenido energético y análisis de ph en base a normas ASTM.
Observación	Checklist.	Matriz de observación para definir el diseño de la planta de producción de biogás, tomas fotográficas

<b>TÉCNICAS</b>	<b>INSTRUMENTO</b>	<b>CRITERIOS</b>
Entrevista	Cuestionario	Preguntas al gerente general, a la jefa de la planta y personal clave

A continuación, se presentan los instrumentos, cuya validación se encuentra en el Anexo D.

En lo particular a las fichas bibliográficas, viene a referirse a la información que se encuentra en el marco teórico (Capítulo II), las fuentes de esta información son detalladas en las Referencias Bibliográficas de la presente investigación.

El manual de dimensionamiento y diseño de biodigestores industriales para clima tropical se utilizó como referencia para nuestro cálculo en el dimensionamiento del biodigestor tipo laguna cubierta, el cual fue complementado con otros autores y criterios con la finalidad de cumplir las características meteorológicas de la ciudad de Huaral.

Fue necesario tener acceso a los reportes de las cantidades de cerdos y guías de remisión de combustibles adquiridos por la empresa, con ello se pudo constatar la cantidad de marranas con que contaban y la cantidad de GLP que la empresa requiere, cabe resaltar que estos datos ya habían sido recogidos mediante el cuestionario. En el Anexo E se encuentran estos reportes de animales, así como dos guías de remisión ejemplares de GLP adquirido por la empresa. Caso similar ocurrió con el plano, del cual solo se pudo tener acceso a un ejemplar impreso del plano de señalización/Mapa de riesgo en el que se aprecia la distribución de las áreas principales de la empresa y sus dimensiones.



Figura 29. Plano de señalización/Mapa de riesgo de la empresa.  
Fuente: Empresa Centro industrial y comercial porcino SAC.

Los planos de la Figura 29 fueron útiles para identificar las zonas donde se instalaría la planta. Un ploteo de la reconstrucción del mismo se muestra en el Anexo J, lámina BTL-03.

Asimismo, se logró obtener acceso al reporte de la temperatura ambiente gracias al contacto vía correo electrónico con el organismo público SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología), en el Anexo G se encuentra esta información.

En cuanto a los catálogos, estos sirvieron de referencia para la selección de los equipos, tales como: el soplador, el quemador, los agitadores, las válvulas de

alivio, el filtro de sulfuro de hidrógeno y el condensador de agua. En el Anexo I se encuentran los catálogos precitados.

Para los ensayos de laboratorio, la recolección de muestras se llevó a cabo en base a las condiciones recomendadas por el laboratorio de energías renovables de la Universidad Nacional Agraria de La Molina. Asimismo, se contrataron los servicios de este laboratorio para llevar a cabo los ensayos en base a los métodos indicados en la Tabla 19, 3 de estos métodos se basan en las normas americanas ASTM.

**Tabla 19.** *Métodos usados para los ensayos de laboratorio*

<b>ENSAYO</b>	<b>MÉTODO</b>
Reporte de análisis elemental (C, H, N, O, S)	Normas ASTM D5373 - ASTM D4239
Reporte de análisis termogravimétrico – TGA (proximal)	Norma ASTM D7582
Reporte de análisis de poder calórico (CALORÍMETRO)	Norma ASTM D5865 – 13
Reporte de análisis de parámetros fisicoquímicos	Potenciométrico

La cotización y las condiciones generales (incluyendo las recomendaciones para la recolección y entrega de muestras) se encuentran en el Anexo H.

De otro lado, se usó una matriz de observación (checklist) para determinar las condiciones habilitantes para el diseño de la planta de producción de biogás para la empresa. La validación de este instrumento se encuentra en el Anexo D.

Este checklist fue evaluado por el observador Winer Hernán Zevallos Villayzán, en el Sector La Quincha s/n, Distrito de Huaral, Lima, el día 18 de junio de 2021, desde las 9:00 hasta las 12:00 horas.

En la Figura 30, se muestra la matriz de observación para determinar las condiciones habilitantes para desarrollar esta investigación, a través de la evaluación del cumplimiento de criterios de observación.

<b><u>MATRIZ DE OBSERVACIÓN PARA DEFINIR EL DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS PARA LA EMPRESA CENTRO INDUSTRIAL Y COMERCIAL PORCINO SAC DE HUARAL</u></b>			
<b>Lugar:</b> Sector La Quincha s/n, Distrito de Huaral, Lima			
<b>Nombre de observador:</b> Winer Hernán Zevallos Villayzán			
<b>Fecha y hora:</b> 18 de junio de 2021, de 9:00 a 12:00 horas			
El fin de la elaboración de este checklist es determinar las condiciones habilitantes para desarrollar la investigación titulada "Diseño de una planta de producción de biogás para el consumo de energía térmica de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral, año 2021", a través de la evaluación del cumplimiento de criterios de observación.			
Nº	Criterios de observación	SI	NO
1	Existe espacio suficiente para instalar el biodigestor en la empresa		
2	La empresa cuenta con equipos con alto consumo de energía		
3	La temperatura ambiental de la empresa cumple el requisito de diseño para el biodigestor		
4	Existe suficiente cantidad de purines en la empresa		
5	Existe forma de disponer todos los purines sin contaminación		
6	La empresa cuenta con un tratamiento de sus purines que involucre un sistema de evacuación		
7	La empresa cuenta con un registro del consumo de combustible		
8	Se cuenta con planos de distribución de áreas o layout que permita identificar las áreas de la empresa y espacios disponibles		
9	La empresa cuenta con registro del consumo de agua		
10	La empresa conoce la composición física-química de sus purines		

Figura 30. Matriz de observación para definir el diseño de una planta de producción de biogás para la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral.

Asimismo, en el Anexo K se muestra la galería fotográfica registrada, la cual permite visualizar lo siguiente:

- La fuente de suministro de agua.
- Los canales efluentes del lavado de corrales de la empresa.
- Los equipos consumidores de gas licuado de petróleo.

- Los espacios disponibles para la ubicación de la planta y la toma de medidas de los mismos.

Finalmente, se utilizó un cuestionario para la entrevista al gerente, el señor Pedro Casas, y a la jefa de planta, la señora Magnolia Casas, de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC para conocer el estado actual de la empresa para considerar estos datos recogidos en el análisis y procesamiento de datos y aportar en los objetivos de la investigación, así como conocer el interés por el desarrollo de esta investigación. Este cuestionario se llevó a cabo el día 18 de junio desde las 13:00 hasta las 15:30 horas. Asimismo, la validación de este instrumento se encuentra en el Anexo D. En la Figura 31 (véase la página 93) se muestra dicho cuestionario:

**CUESTIONARIO PARA CONOCER EL INTERÉS Y LAS CARACTERÍSTICAS RELEVANTES  
PARA EL DISEÑO DE LA PLANTA DE BIOGÁS**

**Entrevistados:** Gerente y jefa de planta de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC (Pedro Casas y Magnolia, respectivamente)

**Fecha y hora:** 18 de junio de 13:00 – 15:30 horas

El fin de este cuestionario es conocer el estado actual de la empresa para considerar estos datos recogidos en el análisis y procesamiento de datos y aportar en los objetivos de la investigación titulada “Diseño de una planta de producción de biogás para el consumo de energía térmica de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral, año 2021”, así como conocer el interés por el desarrollo de esta investigación.

1. ¿Dónde se encuentra ubicada la empresa?
2. ¿Qué tipo de granja tiene las instalaciones de la empresa?
3. ¿Cuál es la cantidad de cerdos criados en la granja para el desarrollo de la investigación?
4. ¿Cuenta con planos las instalaciones de la empresa?
5. ¿Conoce la profundidad de la capa freática del territorio de la empresa?
6. ¿De dónde se abastecen del agua para la limpieza de los corrales?
7. ¿Dónde evacuan las aguas de limpieza de los corrales?
8. ¿Qué tipo de combustible consume en la actualidad?
9. ¿Cuál es el uso y consumo del combustible?
10. ¿Cuál es la temperatura ambiente óptima del recinto de los lechones?
11. ¿Cuentan con un equipo que garantice la continuidad de abastecimiento de energía?
12. ¿Los encargados de la empresa conocen los beneficios del uso de un biodigestor?

*Figura 31.* Cuestionario para el diseño de la planta de biogás.

Cabe señalar que para la validación de los resultados se utilizó como “técnica estadística” el cálculo del margen de error entre lo calculado y el resultado del

programa Biodigestor-PRO versión 3.0, por lo que este programa fue tomado como instrumento.

#### **4.6 Análisis y procesamiento de datos**

##### **a) Procedimiento para determinar las características físicas y químicas de los purines de cerdo**

###### **a.1. Recolección de muestras de biomasa residual**

Para determinar las características físicas y químicas de los purines de cerdo, se llevó a cabo un análisis en el Laboratorio de Energías Renovables (LER) de la Universidad Nacional Agraria de La Molina (UNALM). Para ello, el día 18 de junio de 2021 se recogieron muestras de los purines de cerdo de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral, de acuerdo a las recomendaciones dadas por el laboratorio (encuéntrese en el Anexo H este documento, seguido de la cotización).

Las muestras de purines de cerdo fueron recolectadas de tres puntos de muestreo del lugar de estudio de la presente investigación en la provincia de Huaral, departamento de Lima. En la Figura 32 (véase la página 95) se detallan los galpones y las muestras recolectadas.



*Figura 32.* Recolección de la muestra de purines de cerdo en la planta de Huaral.  
Fuente: Fotografía tomada en la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC

La cantidad de materia prima recogida fue de 0.2 kg. de peso cada una, aproximadamente. Antes de realizar los análisis, las muestras fueron mezcladas para obtener una sola muestra homogénea y representativa de 0.2 kg. para su posterior análisis, tal como se detalla en la Figura 33 (véase la página 96).



a. Muestras de purines de cerdo obtenidas de tres puntos de muestreo procedentes del lugar de estudio y guardadas en una caja térmica de conservación con hielo hasta su traslado al laboratorio.



b. A partir de las muestras tomadas en los tres puntos de muestreo se obtiene una muestra homogénea y representativa para los análisis en el laboratorio.

*Figura 33.* Muestra de purines de cerdo en el laboratorio para su posterior análisis.  
Fuente: Fotografía tomada en el laboratorio

Los ensayos que se llevaron a cabo fueron:

- Análisis proximal o termogravimétrico.
- Análisis Elemental o último.
- Análisis de Poder Calorífico.
- Análisis del parámetro fisicoquímico: pH

Véase en el Anexo H el informe de los procedimientos del Laboratorio de Energías Renovables.

## **b) Procedimiento para determinar el actual consumo de energía térmica y el volumen de biogás equivalente que generarán los purines**

Para el cálculo del consumo térmico se recolectaron los datos mediante un cuestionario a la jefa de planta de la empresa Centro industrial y comercial

porcino SAC (véase en el Anexo E la guía de remisión del abastecimiento de GLP y en el Anexo D, el acta de validación del cuestionario), los datos son mostrados en la Tabla 20:

**Tabla 20.** *Uso y consumo de energía de la empresa*

<b>USO</b>	<b>UBICACIÓN</b>	<b>COMBUSTIBLE</b>	<b>CONSUMO (Balones/semana)</b>
Estufa para el sacrificio de animales	CAMAL	Gas Licuado de Petróleo	6
Campanas para el calentamiento de lechones	ÁREA DE MATERNIDAD	Gas Licuado de Petróleo	3
Campanas para el calentamiento de lechones	ÁREA DE RECRÍA	Gas Licuado de Petróleo	11
<b>Total (Balones/semana)</b>			<b>20</b>

La demanda de GLP para las campanas para el acondicionamiento del recinto de los lechones es representativa para la estación de invierno (estación en la que se recolectaron los datos); para el caso de verano, se desarrolló un cálculo en base al incremento de la temperatura ambiente con el objetivo de llegar a las temperaturas óptimas del recinto (°C), las mismas que fueron datos obtenidos a través del cuestionario, en la Tabla 21 se muestran las máximas temperaturas óptima del recinto por cada área, expresada en °C.

**Tabla 21.** *Máximas temperatura óptima del recinto (°C) por cada área*

<b>Área</b>	<b>Recría</b>	<b>Maternidad</b>
Máxima temperatura óptima del recinto (°C)	30	32

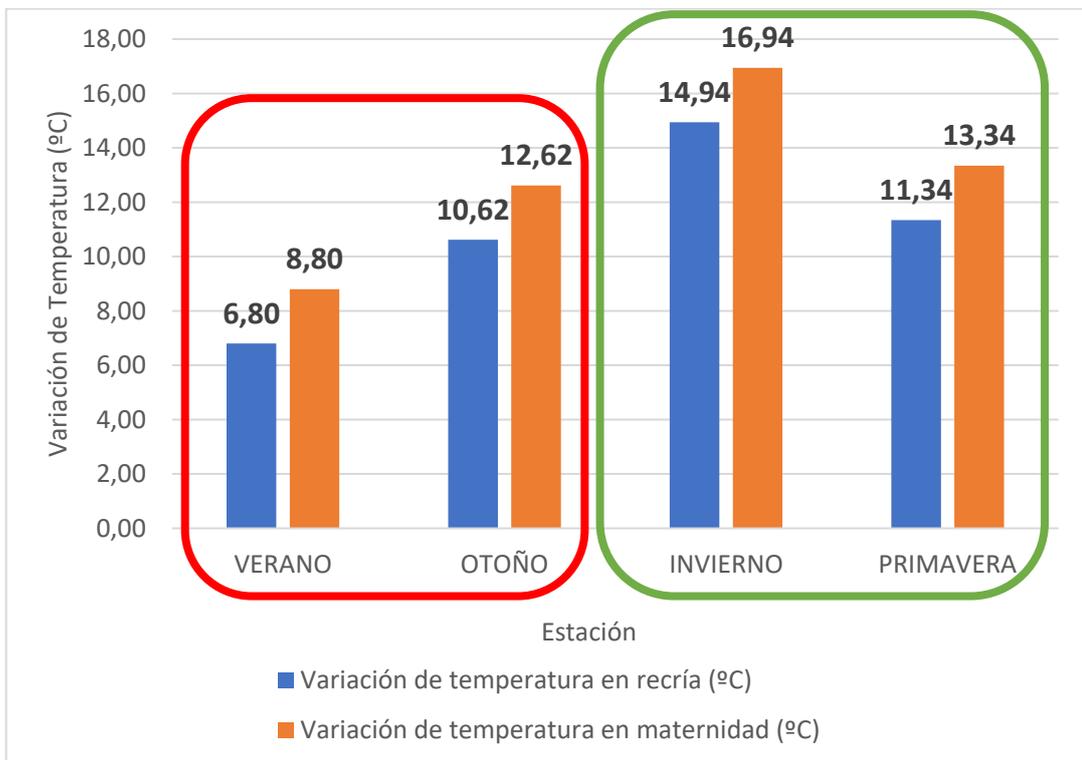
En ese sentido, partiendo de los datos de la Tabla 25 (véase la página 111), se ha procedido a promediar las temperaturas por estaciones (de los años 2017, 2018 y 2019) y con la ayuda de los datos de la Tabla 21 se ha calculado las

variaciones de temperaturas para las áreas de recría y de maternidad, por ser las únicas áreas que requieren acondicionamiento del recinto, para cada estación, véase el resumen de estos cálculos en la Tabla 22.

**Tabla 22.** *Temperatura promedio por estaciones y aumento de temperatura necesario para acondicionamiento de áreas de recría y maternidad (°C)*

Estación	Temperatura Promedio (°C)	Variación de temperatura en recría (°C)	Variación de temperatura en maternidad (°C)
Verano	23.20	6.80	8.80
Otoño	19.38	10.62	12.62
Invierno	15.06	14.94	16.94
Primavera	18.66	11.34	13.34

En base a los datos de la Tabla 22, las variaciones de temperatura son presentados en la Figura 34 para su posterior análisis:



**Figura 34.** *Aumento de temperatura necesario para acondicionamiento de áreas de recría y maternidad.*

De la Figura 34 (véase la página 98), se identifican las estaciones cálidas (verano y otoño) y las estaciones frías (invierno y primavera), encerradas con borde rojo y verde, respectivamente. Las estaciones cálidas requerirán de un menor aumento de temperatura para alcanzar las temperaturas óptimas del recinto, mientras que, las estaciones frías requerirán de un mayor aumento de temperatura para alcanzar las temperaturas óptimas del recinto.

De la Tabla 22 (véase la página 98), se identifica la máxima variación de temperatura para estaciones cálidas (verano y otoño) y para estaciones frías (invierno y primavera). Luego, considerando el consumo de balones de GLP en invierno (acorde a lo indicado en la Tabla 20, en la página 97), se procedió a determinar el requerimiento de balones de GLP para las estaciones cálidas para las áreas en estudio, teniendo en consideración la ecuación (13) y aplicándola para las estaciones cálidas y frías:

$$C_v = \frac{Q_{aire\_est.frías}}{\Delta T_{est.frías}} \quad (27)$$

$$C_v = \frac{Q_{aire\_est.cálidas}}{\Delta T_{est.cálidas}} \quad (28)$$

donde:

- $Q_{aire\_est.frías}$ : Energía ganada por el aire del recinto en estaciones frías,  
 $Q_{aire\_est.cálidas}$ : Energía ganada por el aire del recinto en estaciones cálidas,  
 $C_v$ : Calor específico del aire a volumen constante,  
 $\Delta T_{est.frías}$ : Variación de temperatura del aire del recinto en estaciones frías,  
 $\Delta T_{est.cálidas}$ : Variación de temperatura del aire del recinto en estaciones cálidas.

Dividiendo la ecuación (27) entre la ecuación (28), miembro a miembro, se obtiene la siguiente relación:

$$\frac{Q_{est.frías}}{Q_{est.cálidas}} = \frac{\Delta T_{est.frías}}{\Delta T_{est.cálidas}} . \quad (29)$$

Asimismo, teniendo en cuenta la ecuación (14) y considerando pérdidas despreciables para las estaciones cálidas y frías, se obtienen las ecuaciones (30) y (31), mediante las cuales se determinará la energía generada por el combustible (GLP):

$$Q_{comb\_est.frías} = PCx m_{est.frías} . \quad (30)$$

$$Q_{comb\_est.cálidas} = PCx m_{est.cálidas} . \quad (31)$$

donde:

$Q_{comb\_est.frías}$ : Energía generada por el combustible en estaciones frías.

$Q_{comb\_est.cálidas}$ : Energía generada por el combustible en estaciones cálidas.

$PC$ : Poder Calorífico del combustible (GLP).

$m_{est.frías}$ : Masa de combustible en el proceso de combustión en estaciones frías.

$m_{est.cálidas}$ : Masa de combustible en el proceso de combustión en estaciones cálidas.

Considerando que, por conservación de energía, la energía generada por el combustible es equivalente a la energía ganada por el aire del recinto, se llevará a cabo el reemplazo de las ecuaciones (30) y (31) en la ecuación (29):

$$\frac{PCx \dot{m}_{est.frías}}{PCx \dot{m}_{est.cálidas}} = \frac{\Delta T_{est.frías}}{\Delta T_{est.cálidas}} ,$$

Al simplificar el poder calorífico, se obtiene la relación (32):

$$\frac{\dot{m}_{est.frías}}{\dot{m}_{est.cálidas}} = \frac{\Delta T_{est.frías}}{\Delta T_{est.cálidas}} . \quad (32)$$

Considerando el escenario más severo, es decir, trabajando con las máximas variaciones de temperaturas para cada estación y aplicando la ecuación (32) se consigue el consumo de GLP. Este consumo fue procesado, haciendo la equivalencia en balones de 45 kg de GLP por semana, obteniéndose así los resultados mostrados en la Tabla 23:

**Tabla 23.** *Máxima variación de temperatura y consumo de balones de GLP por semana para estaciones cálidas y frías*

Área	Máxima variación de temperatura ( $\Delta T$ ) (°C)		Consumo (balones/semana)	
	Estaciones cálidas	Estaciones frías	Estaciones cálidas	Estaciones frías
Recría	10.62	14.94	8	11
Maternidad	12.62	16.94	2	3

Teniendo en consideración que los balones de gas licuado de petróleo son de 45 kg y que el Poder Calorífico Inferior del GLP es 12,83 kWh/kg (véase la Tabla 2 en la página 30), se determinó la masa de GLP en kg por día y la demanda de energía térmica por día en kWh/día (*Energía*), esta energía se determina aplicando la ecuación (33). Los resultados son presentados en la Tabla 24 (véase la página 102).

$$Energía = \frac{balones \times 45 \times 12,83}{7} . \quad (33)$$

donde:

balones: Es referente a la cantidad de balones de GLP, de acuerdo al área y la estación a analizar.

45: Es referente a la masa de cada balón de GLP, de acuerdo a la adquisición de la empresa, expresado en kg.

12,83: Es referente al poder calorífico inferior del GLP, expresado en kWh/kg.

7: Es referente a la cantidad de días por semana.

**Tabla 24.** Masa de GLP y energía requerida por día por áreas y estaciones

Estación	Maternidad		Recría		Camal		Total	
	Masa (kg/día)	Energía (kWh/día)						
<b>Cálidas</b>	14	184,27	50	644,67	38,57	494,87	103,18	1324
<b>Frías</b>	19,29	247,44	70,71	907,26	38,57	494,87	128,57	1650

Ahora bien, teniendo en consideración que la demanda de energía será perenne, y que el poder calorífico inferior del biogás es de 6,25 kWh/m<sup>3</sup> se determinó el volumen de biogás equivalente en m<sup>3</sup> por día por cada estación que se requerirá para cubrir la demanda de energía térmica ( $Vol_{req}$ ), este cálculo se basa en la ecuación (34):

$$Vol_{req} = \frac{Energía}{6,25} . \quad (34)$$

El resultado de los cálculos es mostrado en la Tabla 40 (véase la página 178), del Capítulo V.

### **c) Procedimiento para definir el diseño de la planta para la producción de biogás**

#### **c.1. Criterio de selección**

Los efluentes generados por la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral, son los purines de cerdo, con una masa de carga diaria de 2280 kg (en base húmeda), por ser una masa considerable para tratarla adecuadamente, así como las ventajas señaladas en la Tabla 9 (véase la página 47), se seleccionó un biodigestor tipo laguna cubierta, el cual cuenta con sistema de agitación y un sistema de almacenamiento de biogás externo de membrana doble, este tipo de biodigestor no presenta sistema de calefacción ni aislamiento por lo que su eficiencia depende de la temperatura del lugar donde se instale. Adicionalmente, ya que la temperatura ambiental mínima durante los años 2017, 2018 y 2019 fueron 12,75 °C, 11,75 °C, 13 °C, respectivamente, se cumple con la condición de la temperatura mínima y máxima necesaria para que se desarrolle un proceso de digestión (dentro del rango de temperatura psicrófilico).

## **c.2. Distribución de procesos**

Para la presente investigación, el proceso propuesto para la producción de biogás en la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral es:

- 1) Luego del proceso de lavado de los galpones de los cerdos, por arrastre y por gravedad, los canales existentes que conducen el flujo de la mezcla de purines y agua desde los galpones atravesando el muro perimétrico de las instalaciones, será necesario hacer un ramal a la troncal de este canal, e instalar una compuerta en el canal existente, justo después del ramal, ello por temas de operación y mantenimiento, este ramal deberá desembocar en el tanque de alimentación.
- 2) El tanque de alimentación estará dimensionado para una capacidad de 6,28 m<sup>3</sup> y de flujo continuo acuerdo a la generación de purines de cerdo y el lavado de corrales, el cual es diario. Una vez acumulados los purines en el tanque de alimentación se procederá a verificar que no cuente con algunas sustancias que puedan dañar al biodigestor y perjudicar en la producción del biogás, llevado esta inspección se dará paso al proceso de mezclado entre el agua y purines con un porcentaje de dilución del 10%. El mezclado es realizado por medio de un agitador (motor y un impelente) y esto servirá para una adecuada homogeneidad de la mezcla.
- 3) Contando con una mezcla homogénea en el tanque de alimentación esta será direccionada mediante una tubería hacia el interior del biodigestor tipo laguna cubierta de flujo continuo (con capacidad de 211,03 m<sup>3</sup>). El biodigestor se encuentra herméticamente sellado con geomembrana en el interior de ella y es aquí donde se dará el proceso de la digestión anaeróbica mediante una serie de procesos que hará que el pool bacteriano dé paso a la generación de microorganismos que convierten el digestato en gas metano, dióxido de carbono y otros gases en pequeñas proporciones, los cuales, en conjunto viene a ser el biogás.
- 4) Para tener una mejor reacción deberán ser accionados los agitadores del interior del biodigestor para remover la mezcla de forma continua y

- minimizar la sedimentación de sólidos. La producción del biogás, de acuerdo a lo mencionado anteriormente, toma en promedio el TRH hallado.
- 5) Una vez producido el biogás este será, conducido mediante tuberías hacia el gasómetro o sistema de almacenamiento, a partir del mismo, el biogás podrá ser distribuido en los puntos de demanda de energía térmica, es decir, hacia las campanas aéreas para calefacción de lechones y hacia el quemador del recipiente de agua caliente para el área de sacrificio de animales de la empresa.
  - 6) En la línea de biogás, se contará con un sistema de acondicionamiento y control de calidad del biogás, el cual se compone de un tren de calibración, el cual contiene válvulas de cierre, filtro de ácido sulfúrico, sensor de presión mínima de presión, manómetros, válvula check, compensador, soplador, válvula de recirculación, control de temperatura máxima, sensor de presión máxima, transmisor y regulador de presión, así como también el condensador de vapor de agua.
  - 7) Si se diera el escenario de producción excesiva de biogás que pueda causar daños al sistema, se dará paso a que entre en funcionamiento el quemador de biogás, hasta poder mantener las condiciones de funcionamiento normales del proceso.
  - 8) Aguas abajo del sistema de acondicionamiento y control de calidad, se encuentra el gasómetro o sistema de almacenamiento, el cual, al igual que el biodigestor contará con un sistema de alivio de presión.
  - 9) De otro lado, el biol será conducido por gravedad mediante una tubería desde el biodigestor tipo laguna hacia la laguna de descarga del biol (18,91 m<sup>3</sup> de capacidad), en donde se dejará decantar las partículas pesadas por un periodo de 3 días, y así solo el líquido, luego de un proceso de filtración mecánica podrá ser usado como fertilizante foliar, cuya composición química tiene gran potencial para el crecimiento de cultivos.
  - 10) Para el tercer producto, se bombeará el lodo decantado en la laguna de descarga hacia el lecho de secado donde tendrá una permanencia de, por lo menos, 3 días para su secado, conducidos mediante tuberías. Los lodos separados son secados en una parte del lecho de secado y el componente

lixiviado es recirculado hacia la laguna del biodigestor o de extracción (por gravedad). Una vez obtenido el lodo seco estos sirven como biofertilizantes agrícolas, los mismos que pueden ser vendidos, al igual que el biol, coadyuvando a dar un valor agregado a este proyecto.

En la Figura 35 (véase la página 106) se muestra el diagrama general del proceso propuesto:

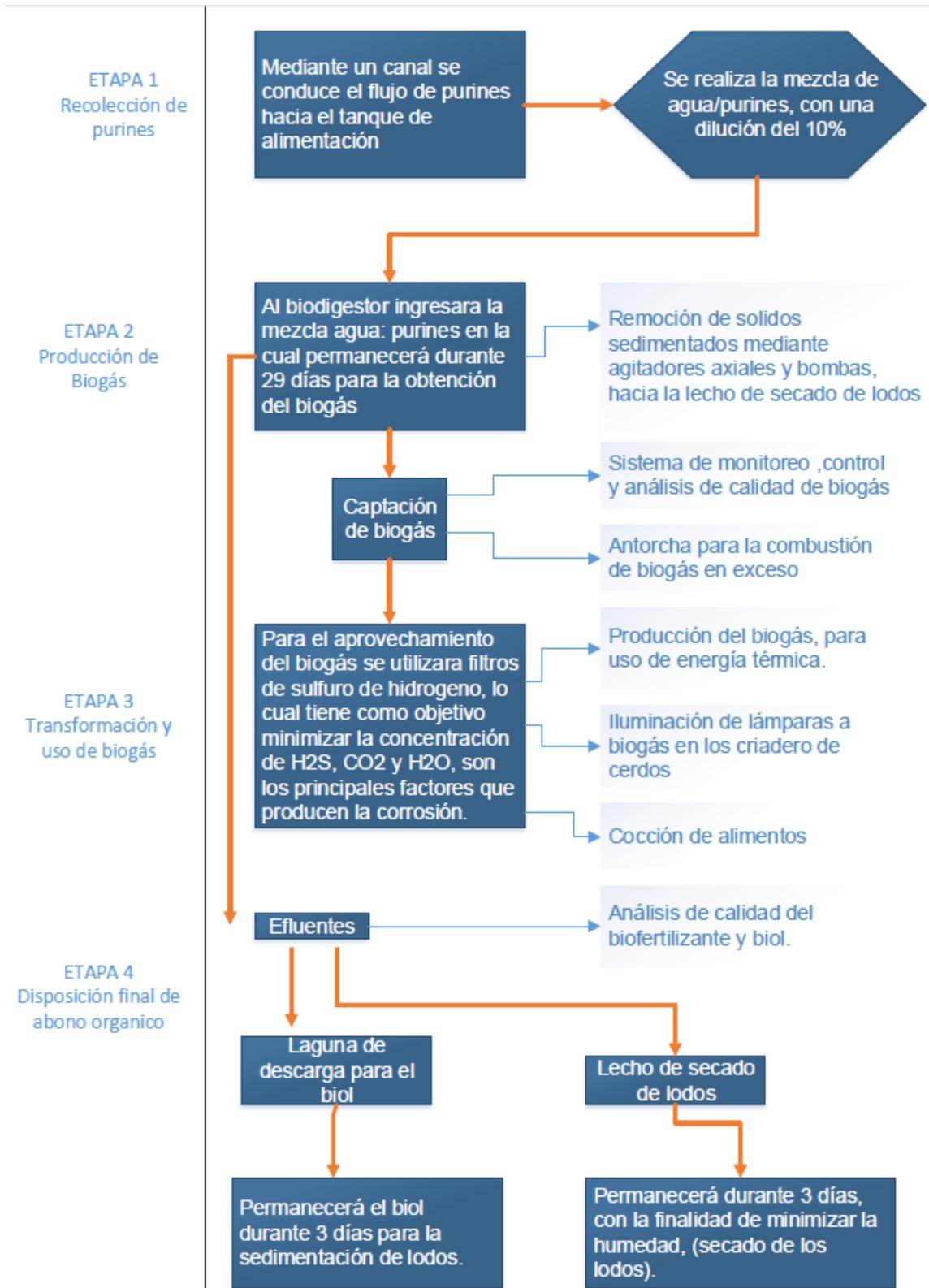


Figura 35: Diagrama general del proceso de producción de biogás.

### c.2.1. Requisitos previos para el dimensionamiento del biodigestor

Los cálculos que se tienen que realizar para un adecuado dimensionamiento del biodigestor son los siguientes:

- Cálculo de la masa de purines producidos al día.
  - Cálculo de la masa seca (MS).
  - Cálculo de la masa volátil (MV).
  - Cálculo del tiempo de retención hidráulica (TRH), días.
  - Selección de la carga orgánica volumétrica (COV) de diseño.
  - Cálculo del volumen del biodigestor tipo laguna.
  - Estimación de la producción del biogás.
- **Masa de purines producidos al día ( $m_{diaria}$ ) y la masa húmeda (MH)**

Remplazando los datos de la

Tabla 3 (véase la página 32), el peso vivo promedio y los 600 porcinos en la ecuación (15), se obtendrá la masa de purines producida al día ( $m_{diaria}$ ):

$$m_{diaria} = \frac{4 \text{ kg purines/día}}{100 \text{ kg peso vivo}} * 95 \text{ kg peso vivo} * 600 .$$

$$m_{diaria} = 2280 \text{ kg purines/día} . \quad (35)$$

Los purines de cerdo generados al día, tendrá una eficiencia de recojo de 99 %. El 1% se trata de merma que queda remanente en los canales y los periféricos de los galpones.

En línea con ello, la masa diaria recolectada, la cual es conocida como masa húmeda  $MH$ , por encontrarse en base húmeda, es calculada con la ecuación (36):

$$MH = m_{diaria} * \text{eficiencia de recojo} \text{ kg purines/día} . \quad (36)$$

$$MH = 2280 * 0,99 \text{ kg purines/día} .$$

$$MH = 2257,2 \text{ kg purines/día} . \quad (37)$$

- **Masa seca (MS)**

Considerando que la muestra analizada en el laboratorio arrojó una *humedad*(%) = 74,50% (véase el reporte en el Anexo H), la *Masa Seca* (%) será determinada al reemplazar este valor en la ecuación (38):

$$Masa Seca (\%) = 100\% - 74,50\% .$$

$$Masa Seca (\%) = 25,5 \% . \quad (38)$$

Luego la masa seca (MS) en kilogramos se determinará así:

$$MS = Masa Seca (\%) * MH . \quad (39)$$

Remplazando las ecuaciones (37) y (38) en la ecuación (39) se obtiene MS:

$$MS = 0,255 * 2257,2 \text{ kg/día} .$$

$$MS = 575,6 \text{ kg/día} . \quad (40)$$

La masa seca para alimentar al biodigestor, según lo recomendado por Moncayo (2014), tiene que estar comprendida de 8 al 12%, para la presente investigación se tomará un promedio del 10% de masa seca en la mezcla.

- **Agua a adicionar ( $Q_{(agua)}$ )**

Debido a que la masa seca representa el 10% de la masa total (MT), entonces:

$$\frac{MS}{MT} = 0,10 . \quad (41)$$

Reemplazando la ecuación (48) en la ecuación (41):

$$\frac{575,6}{MT} = 0,10 .$$

$$MT = 575,6 \text{ kg/día} * 10 .$$

$$MT = 5756 \text{ kg/día} . \quad (42)$$

Remplazando las ecuaciones (42), (40) y (42) en la ecuación (18).

$$Q_{(agua)} = 5756 - (2257,2 - 575,6) .$$

$$Q_{(agua)} = 4074,4 \text{ kg/día} . \quad (43)$$

Asimismo, considerando la densidad del agua 1000 kg/m<sup>3</sup> y dividiendo en la ecuación (43):

$$Q_{(agua)} = 4,07 \text{ m}^3/\text{día} . \quad (44)$$

#### - **Cálculo de la masa volátil (MV)**

El valor de la masa volátil es también necesario para el cálculo de la carga orgánica volumétrica, COV ( $kg \cdot MV/m^3 \cdot día$ ), con la cual se alimenta el biodigestor.

El porcentaje de ceniza [ $Ceniza(\%)$ ] es terminado con los análisis de la muestra en el laboratorio (véase el reporte en el Anexo H).

$$Ceniza(\%) = 3,06 \% . \quad (45)$$

Remplazando las ecuaciones (38) y (45) en la ecuación (26):

$$MV(\%) = \left( \frac{25,5\% - 3,06\%}{25,5\%} \right) * 100\% .$$

$$MV(\%) = 88\% . \quad (46)$$

Considerando que el valor porcentual de la masa volátil ha sido sobre la base seca. La MV, expresada en kilogramos será calculado con la ecuación (47),

$$MV(kg) = MS(kg) * MV(\%) . \quad (47)$$

Reemplazando las ecuaciones (40) y (46) en la ecuación (47).

$$MV(kg) = 575,6 \text{ kg/día} * 88 \% .$$

$$MV(kg) = 506,52 \text{ kg} . \quad (48)$$

#### - **Tiempo de Retención Hidráulico (TRH)**

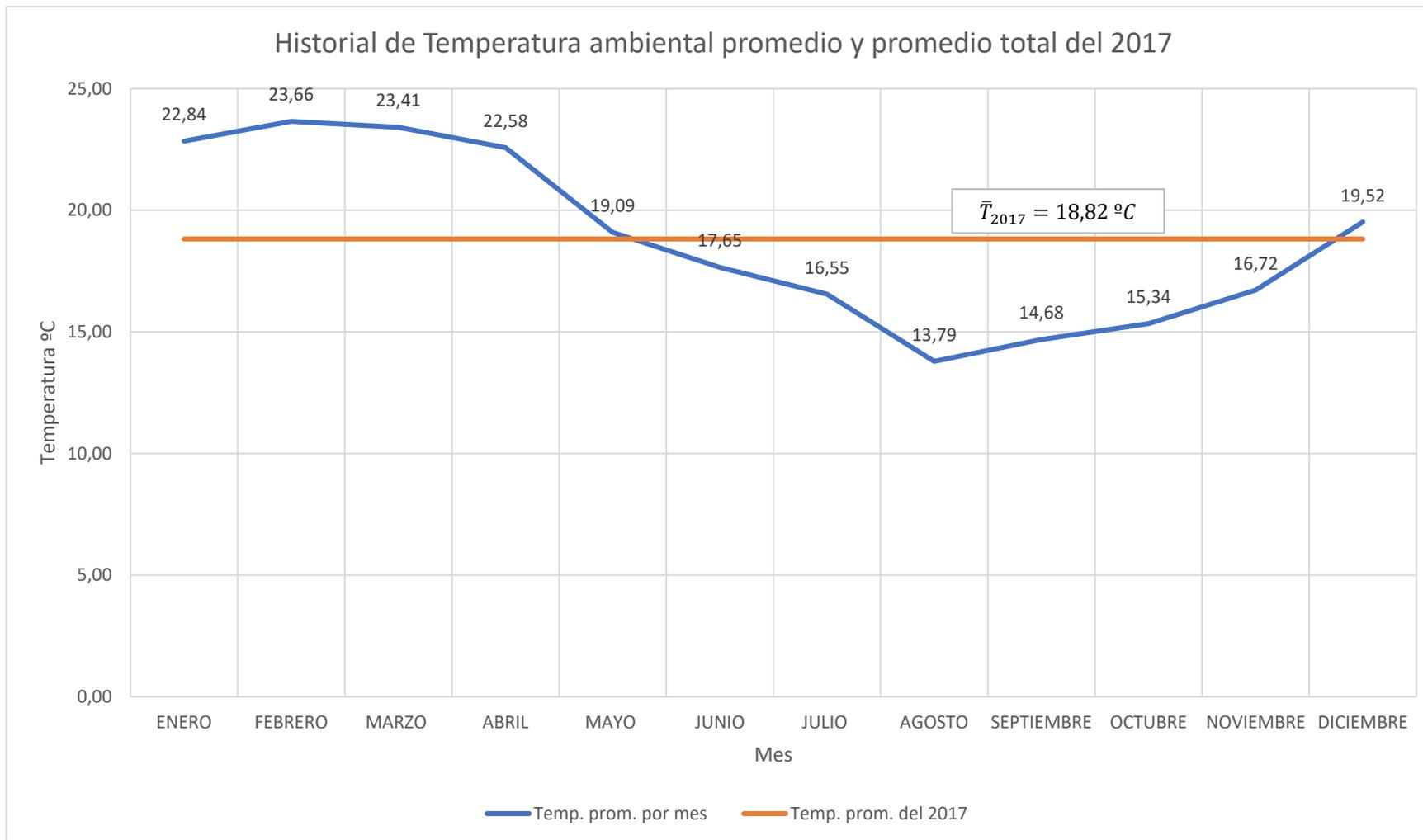
Para el cálculo del TRH, en base a la ecuación (17) será necesario el análisis del histórico de la temperatura ambiental, para ello, se solicitó el histórico de los valores de la temperatura ambiental durante los años 2017, 2018 y 2019 al Instituto de Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), esta información es mostrada en la Tabla 25 (véase la página 111).

**Tabla 25. Temperatura de la ciudad de Huaral (°C)**

Registro temperatura de Huaral, Lima												
<b>2017</b>	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Temp. Max	27,55	28,28	27,95	27,43	22,51	19,97	18,25	14,83	16,20	17,26	20,02	23,02
Temp. Min	18,13	19,03	18,87	17,73	15,67	15,34	14,85	12,75	13,16	13,42	13,42	16,02
Temp. Promedio	22,84	23,66	23,41	22,58	19,09	17,65	16,55	13,79	14,68	15,34	16,72	19,52
<b>2018</b>	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Temp. Max	26,63	28,64	19,13	25,48	21,64	17,55	14,90	14,44	16,64	17,85	20,40	24,45
Temp. Min	17,64	19,25	18,48	15,89	14,62	13,06	11,94	11,75	12,31	12,47	13,69	15,83
Temp. Promedio	22,14	23,95	18,81	20,69	18,13	15,31	13,42	13,10	14,48	15,16	17,05	20,14
<b>2019</b>	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Temp. Max	30,00	31,00	32,00	30,00	24,00	21,00	18,00	19,00	21,00	24,00	27,00	29,00
Temp. Min	17,00	19,00	19,00	17,00	16,00	14,00	14,00	13,00	14,00	14,00	16,00	18,00
Temp. Promedio	23,50	25,00	25,50	23,50	20,00	17,50	16,00	16,00	17,50	19,00	21,50	23,50
Temp. Promedio 2017	18,82	Temp. Promedio 2018	17,70	Temp. Promedio 2019	20,71							

Fuente: Elaborado en base a datos del SENAMHI /DRD, estación: Huayan, Distrito: Huaral, Provincia: Huaral, Departamento: Lima.

De la Tabla 25 se puede concluir que la temperatura promedio en el año 2017 fue de 18,82 °C, en el año 2018 fue de 17,7 °C y en el 2019 fue de 20,71 °C. Teniendo como temperatura máxima en el 2017 28,28 °C, en el 2018, 28,64 °C y en el 2019, 32 °C; y como temperatura mínima en el 2017 12,75 °C, en el 2018 11,75 °C y en el 2019 13 °C.



*Figura 36. Temperatura durante el año 2017 en la ciudad de Huaral.*

Fuente: Elaborado en base a datos del SENAMHI /DRD, estación: Huayan, Distrito: Huaral, Provincia: Huaral, Departamento: Lima.

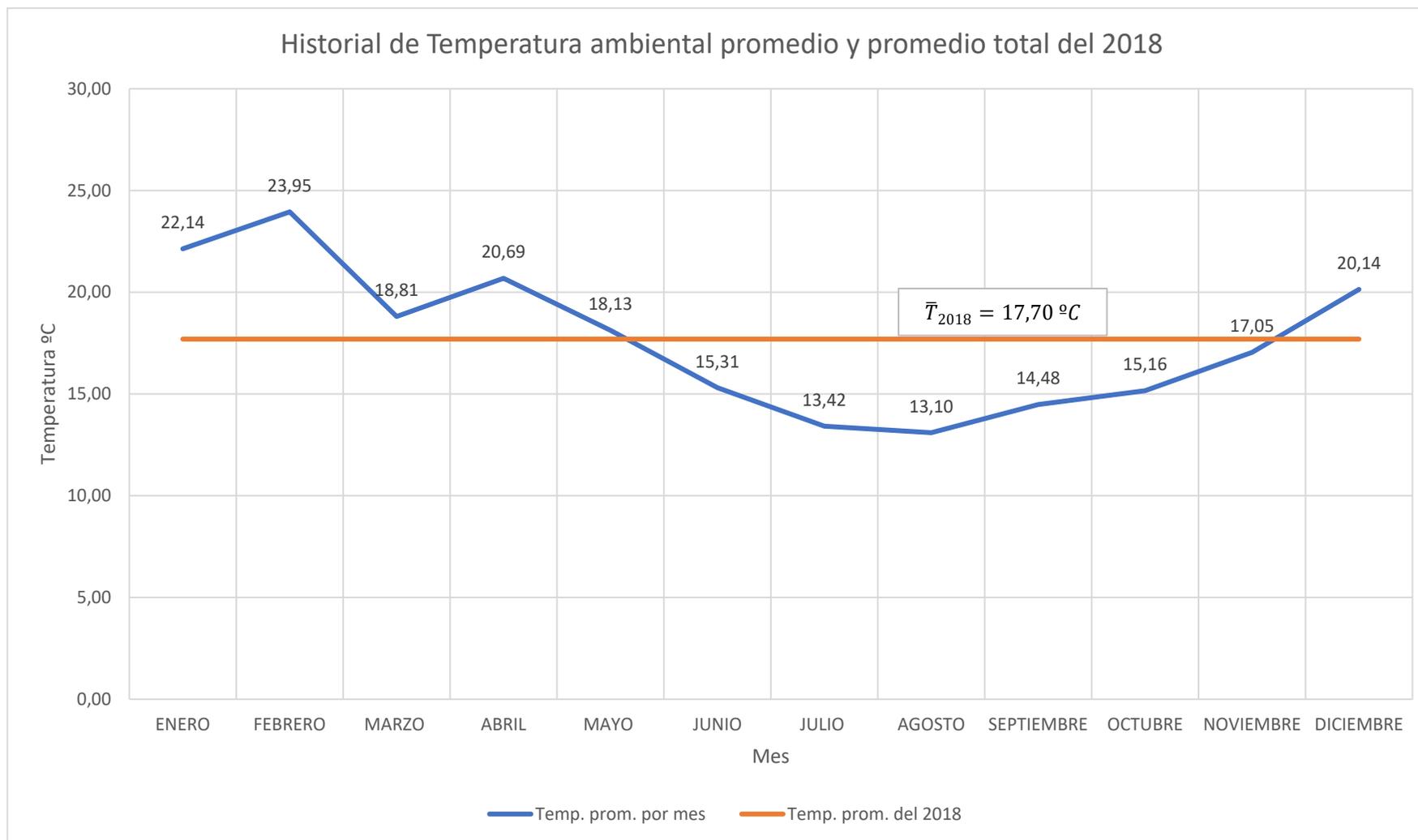


Figura 37. Temperatura durante el año 2018 en la ciudad de Huaral.

Fuente: Elaborado en base a datos del SENAMHI /DRD, estación: Huayan, Distrito: Huaral, Provincia: Huaral, Departamento: Lima.

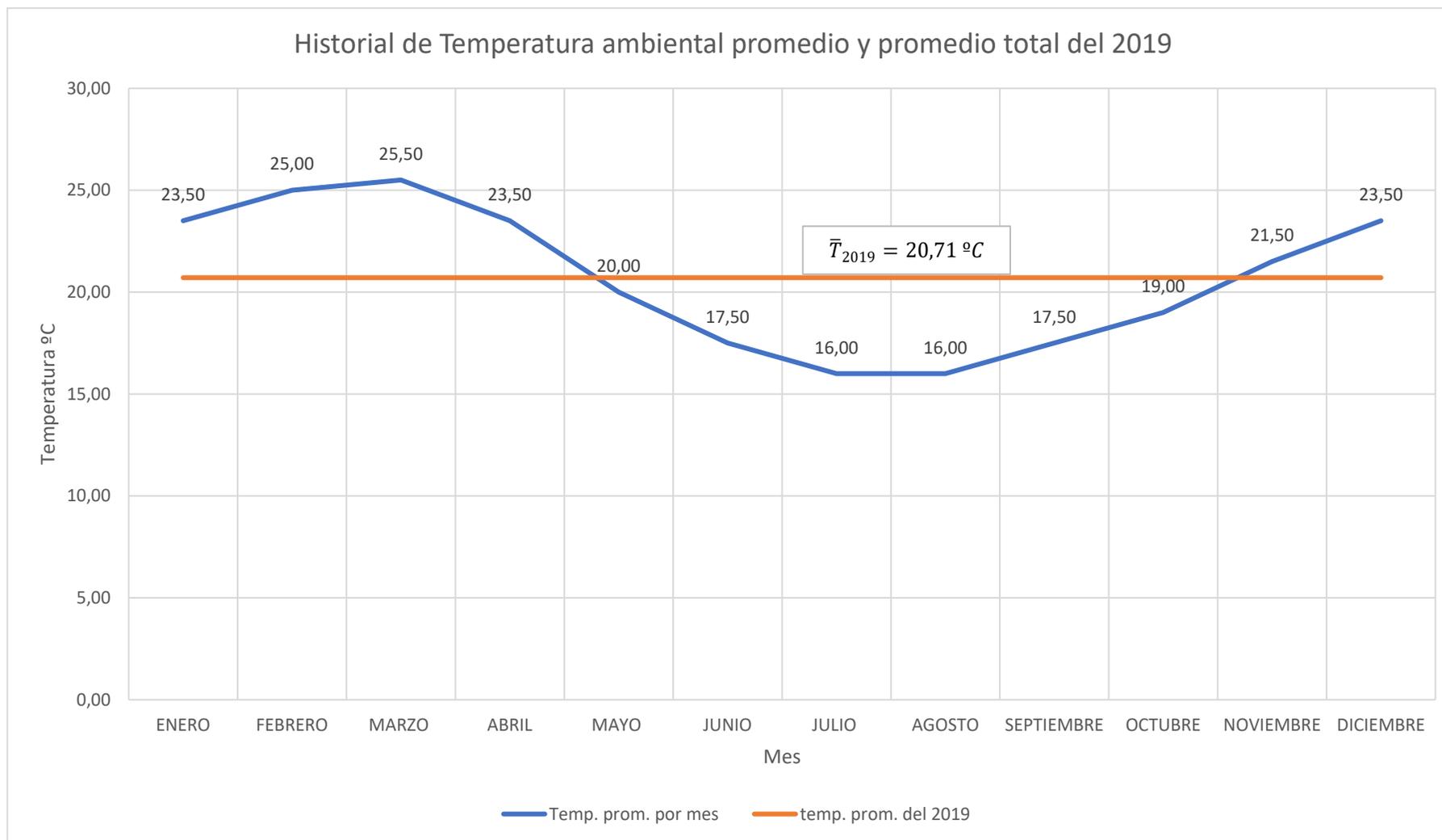


Figura 38. Temperatura durante el año 2019 en la ciudad de Huaral.

Fuente: Elaborado en base a datos del SENAMHI /DRD, estación: Huayan, Distrito: Huaral, Provincia: Huaral, Departamento: Lima.

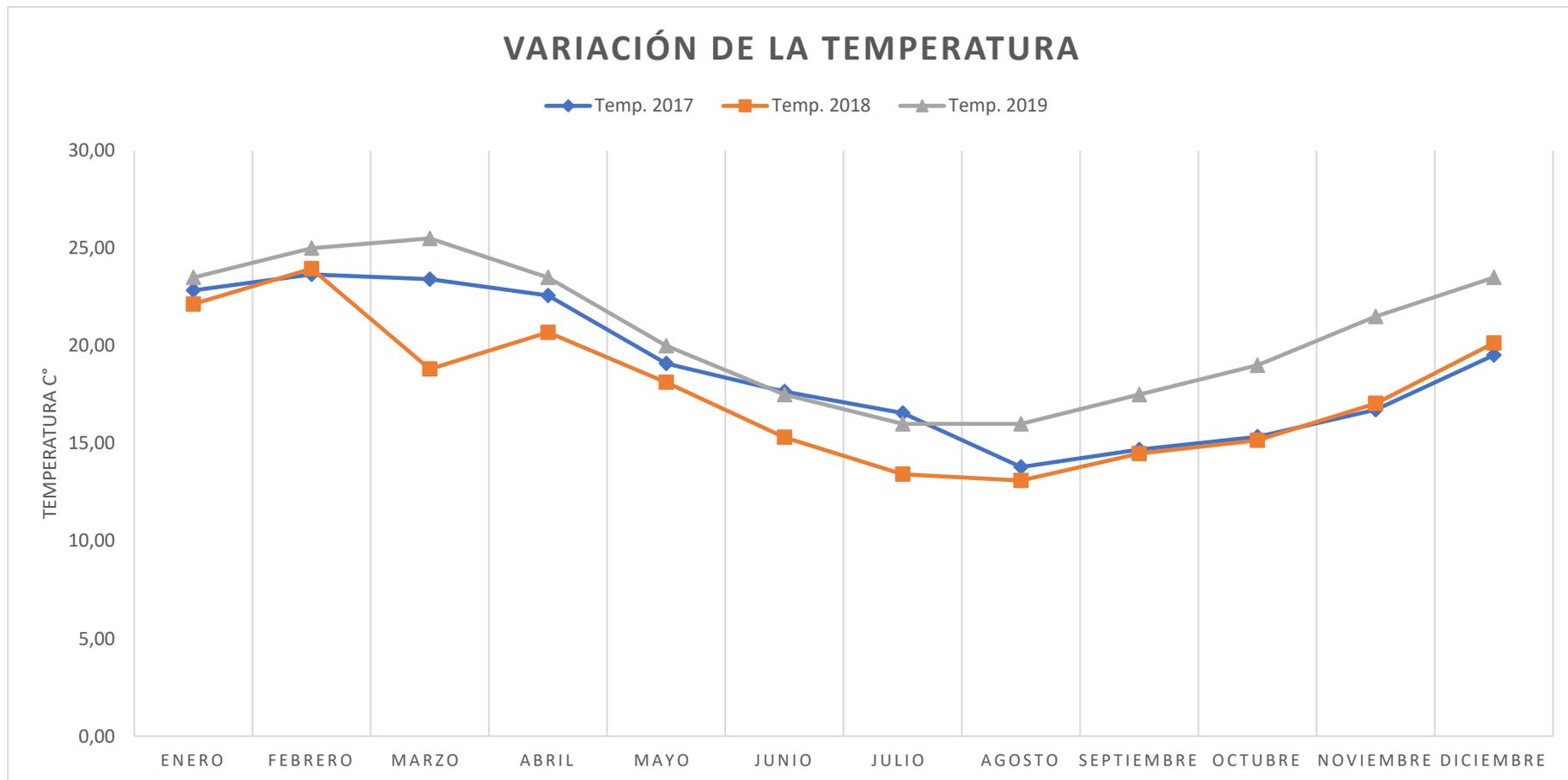


Figura 39. Historial de temperaturas durante los años 2017, 2018 y 2019 en la ciudad de Huaral.

Fuente: Elaborado en base a datos del SENAMHI /DRD, estación: Huayan, Distrito: Huaral, Provincia: Huaral, Departamento: Lima.

De la Figura 36, Figura 37 y Figura 38 (véase las páginas 112-114), se aprecia que los valores más bajos de temperatura ambiental promedio en los tres años analizados coinciden manifestarse en los meses julio, agosto, septiembre y octubre, mientras que los valores más altos son manifestados en los meses enero, febrero, marzo y abril, con una desviación en el mes de marzo del 2018.

Así mismo se denota la representación de la temperatura promedio de cada año analizado, denotando que las variaciones entre los picos (superior e inferior) de las temperaturas promedio por mes y la temperatura promedio del año representan entre 4 – 6 °C.

Por su parte, en la Figura 39 (véase la página 115), se aprecia que el historial de las temperaturas ambiente promedio en los años 2017, 2018, 2019, muestran valores y comportamientos similares.

Para el diseño del biodigestor tipo laguna, se trabajó con la temperatura promedio ( $\bar{T}$ ) de los 3 años, la cual es calculada mediante la ecuación (49):

$$\bar{T} = \frac{\Sigma \bar{T}_{2017} + \bar{T}_{2018} + \bar{T}_{2019}}{n} . \quad (49)$$

donde:

- $\bar{T}_{2017}$  : Es la temperatura promedio en el año 2017.
- $\bar{T}_{2018}$  : Es la temperatura promedio en el año 2018.
- $\bar{T}_{2019}$  : Es la temperatura promedio en el año 2019.
- $n$  : El número total de años, para este caso,  $n = 3$ .

Remplazando los valores de la Tabla 25 (véase la página 111) en la ecuación (49):

$$\bar{T} = \frac{18,82 + 17,70 + 20,71}{3} ,$$

$$\bar{T} = 19,07 \text{ } ^\circ\text{C} . \quad (50)$$

Reemplazando la ecuación (50) en la ecuación (17) se determinó el Tiempo de Retención Hidráulico (*TRH*), de acuerdo a la ecuación de Barrena G, *et al* (2017).

$$TRH = -44,70 * \ln(19,07) + 160,394 ,$$

$$TRH = 28,13 \text{ días} ,$$

Redondeando al entero superior más cercano, el Tiempo de Retención Hidráulico será:

$$TRH = 29 \text{ días} . \quad (51)$$

- **Selección de la Carga Orgánica Volumétrica (COV)**

En base a lo indicado por Varnero (2011) y Moncayo (2014), este último autor menciona que el valor del COV debe estar entre 2,5 y 3 kgMV/m<sup>3</sup>, por lo que, para la presente investigación, se seleccionó un COV de 2,75 kg MV/m<sup>3</sup> · d.

$$COV = 2,75 \text{ kg MV/m}^3 \cdot \text{d} . \quad (52)$$

- **Volumen de diseño del biodigestor tipo laguna ( $V_{\text{diseño}}$ )**

• **De acuerdo a la selección de la carga orgánica volumétrica (COV)**

El volumen del biodigestor tipo laguna, de acuerdo a la selección de la carga orgánica volumétrica COV, será determinado la división de la masa volátil entre el volumen por días.

$$COV = \frac{MV}{V_{\text{útil}} \cdot d} \left( \frac{\text{kgMV}}{\text{m}^3 \cdot \text{d}} \right) .$$

donde:

$V_{\text{útil}}$ : Volumen útil del biodigestor en m<sup>3</sup>.

MV: Masa volátil en kg.

$d$ : Día.

Remplazando las ecuaciones (52) y (48) en la ecuación (152) se obtendrá el volumen útil del biodigestor.

$$2,75 \left( \frac{\text{kgMV}}{\text{m}^3 \cdot \text{d}} \right) = \left( \frac{506,52 \text{ kgMV}}{V_{\text{útil}} * \text{d}} \right) .$$

$$V_{\text{útil}} = \frac{506,52}{2,75} \text{ m}^3 .$$

$$V_{\text{útil}} = 184,19 \text{ m}^3 . \quad (53)$$

- **De acuerdo al Tiempo de Retención Hidráulico (TRH)**

A modo de comprobación, el volumen del biodigestor tipo laguna, de acuerdo al Tiempo de Retención Hidráulico (TRH), será determinado con la ecuación (54).

$$V'_{\text{útil}} = \left( \frac{MH}{\rho_{\text{purines}}} + Q_{(\text{agua})} \right) * TRH . \quad (54)$$

Reemplazando las ecuaciones (37), (62), (44) y (51) en la ecuación (54).

$$V'_{\text{útil}} = \left( \frac{2257,2 \text{ kg/día}}{1019 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} + 4,07 \text{ m}^3/\text{día} \right) * 29 \text{ días} ,$$

$$V'_{\text{útil}} = 182,27 \text{ m}^3 . \quad (55)$$

Luego, comparando la ecuación (53) con la ecuación (55), se determina que el porcentaje de diferencia (% de dif.) es de:

$$\% \text{ de dif.} = \frac{184,19 - 182,27}{182,27} \times 100 \% ,$$

$$\% \text{ de dif.} = 1,05 \% . \quad (56)$$

Debido a que este porcentaje de diferencia es muy pequeño (< 5 %), podemos verificar que el valor del COV ( $2,75 \text{ kg MV/m}^3 \cdot \text{d}$ ) seleccionado es correcto.

Luego, al volumen útil obtenido se adicionará un factor de seguridad ( $f.s$ ) de 20%, el cual nos garantizará que el biodigestor pueda soportar sobrecargas producidas en la operación. En ese sentido el volumen requerido ( $V_{requerido}$ ) será determinado en base a la ecuación (57):

$$V_{requerido} = V_{\text{útil}} (1 + f.s) m^3. \quad (57)$$

$$V_{requerido} = 184,19 (1 + 0,2) m^3.$$

$$V_{requerido} = 221,03 m^3. \quad (58)$$

- **Producción del biogás al día ( $\dot{Q}_{biogás}$ )**

Según Martínez (2015), el ganado porcino genera 4 kg de masa húmeda por animal al día, el mismo que produce  $0,33 m^3$  de biogás útil al día. El cálculo de  $\dot{Q}_{biogás}$  en  $m^3/d$  según la ecuación (59) se basa en esta estimación.

$$\dot{Q}_{biogás} = \frac{MH \left(\frac{kg}{d}\right) * 0,33 \left(\frac{m^3 \text{ biogás}}{d}\right)}{4 \left(\frac{kg}{d}\right)}. \quad (59)$$

donde:

$MH$ : Masa húmeda generado al día, (kg/d)

Remplazando la ecuación (37) en la ecuación (59) se tiene:

$$\dot{Q}_{biogás} = \frac{2257,2 \left(\frac{kg}{d}\right) * 0,33 \left(\frac{m^3 \text{ biogás}}{d}\right)}{4 \left(\frac{kg}{d}\right)}.$$

$$\dot{Q}_{biogás} = 186,21 \frac{\text{m}^3 \text{ biogás}}{\text{d}}. \quad (60)$$

### c.3. Diseño tanque de alimentación

El tanque de alimentación es de forma cilíndrica para obtener una mezcla homogénea.

#### - Volumen útil del tanque de alimentación ( $V_{TA}$ )

El volumen requerido del tanque es determinado por el volumen de purines generados al día y el agua que se agrega para obtener una mejor dilución, el tanque se tiene que cubrir por la parte superior con la finalidad de que se proteja de la lluvia, de esta manera se evita que se adicione el agua de lluvia.

El cálculo del volumen de la masa de purines generados al día ( $V_{purines}$ ) se da por la ecuación (61).

$$V_{purines} = \frac{MH}{\rho_{purines}}, \quad (61)$$

donde:

- $V_{purines}$  : Volumen de purines generados al día, ( $\text{m}^3$ ).
- $MH$  : Masa húmeda, (kg).
- $\rho_{purines}$  : Densidad media del purín, ( $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ).

La densidad se toma en cuenta el promedio:

$$\rho_{purines} = \frac{1015 + 1023}{2} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right),$$

$$\rho_{purines} = 1019 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}. \quad (62)$$

Remplazamos la ecuación (37) y (62) en la ecuación (61), se tiene:

$$V_{purines} = \frac{2257,2 \frac{kg \text{ purines}}{dia}}{1.019 \frac{kg}{m^3}},$$

$$V_{purines} = 2,21 \frac{m^3}{d}. \quad (63)$$

El cálculo del volumen útil tanque de alimentación se da mediante la ecuación (61), el volumen útil del tanque de alimentación ( $V_{TA}$ ) se dimensiona considerando el volumen de purines generados al día más el agua a adicionar, acorde a la ecuación (64).

$$V_{TA} = V_{purines} + Q_{(agua)}, \quad (64)$$

Remplazamos la ecuación (63) y (44) en la ecuación (64), se obtiene:

$$V_{TA} = 2,21 \frac{m^3}{d} + 4,07 \frac{m^3}{d},$$

$$V_{TA} = 6,28 \frac{m^3}{d}. \quad (65)$$

#### - Dimensiones tanque de alimentación

El volumen del tanque está definido mediante la ecuación (66):

$$V_{TA} = \frac{\pi * D_{TA}^2}{4} * h_{TA}. \quad (66)$$

donde:

- $V_{TA}$  : volumen útil tanque de alimentación ( $m^3$ )
- $D_{TA}$  : diámetro del tanque de alimentación, (m).
- $h_{TA}$  : altura del tanque de alimentación, (m).

Remplazando la ecuación (65) en la (66), se obtiene el diámetro en función de la altura.

$$D_{TA}^2 * h_{TA} = 7,99 . \quad (67)$$

Según la OPS/CEPIS (2005), la relación del diámetro  $D_{TA}$  con la altura  $h_{TA}$ , varía de acuerdo a  $K = (D_{TA}/h_{TA}) = (0,5 - 3)$  , En la Tabla 26 se tabulan las iteraciones para cumplir con la relación y con el volumen útil.

**Tabla 26.** Tabulación de datos en función del diámetro y la altura.

Vol. (m <sup>3</sup> )	K	$D_{TA}$ (m)	$h_{TA}$ (m)
3,14	2	2,00	1
3,27	2,01	2,03	1,01
3,40	2,02	2,06	1,02
3,54	2,03	2,09	1,03
3,68	2,04	2,12	1,04
3,82	2,05	2,15	1,05
3,97	2,06	2,18	1,06
4,12	2,07	2,21	1,07
4,28	2,08	2,25	1,08
4,44	2,09	2,28	1,09
4,61	2,1	2,31	1,1
4,78	2,11	2,34	1,11
4,96	2,12	2,37	1,12
5,14	2,13	2,41	1,13
5,33	2,14	2,44	1,14
5,52	2,15	2,47	1,15
5,72	2,16	2,51	1,16
5,92	2,17	2,54	1,17
6,13	2,18	2,57	1,18
6,35	2,19	2,61	1,19
6,57	2,2	2,64	1,2

En la Tabla 26 se muestra, en la fila de amarillo, el diámetro y la altura, que cumple con el requisito de diseño y el volumen del tanque de alimentación requerido.

Por lo tanto, se concluye que las dimensiones para el tanque de alimentación son:

$$D_{TA} = 2,61\text{m}. \quad (68)$$

$$h_{TA} = 1,19\text{m.} \quad (69)$$

$$K = 2,19. \quad (70)$$

Para un volumen del tanque de alimentación útil de diseño ( $V_{TA\_diseño}$ ) de:

$$V_{TA\_diseño} = 6,35 \text{ m}^3. \quad (71)$$

#### **c.4. Laguna para el biodigestor tipo laguna cubierta**

Debido a que la laguna del biodigestor se considera como un tronco de pirámide invertida, el volumen del mismo ( $V_c$ ) fue calculado mediante la siguiente ecuación:

$$V_c = \frac{h}{3} (AB + ab + \sqrt{AB * ab}), \quad (72)$$

donde:

- AB: Área de la base mayor ( $\text{m}^2$ )
- ab: Área de la base menor ( $\text{m}^2$ )
- h: Altura de la cámara del biodigestor (m)

Luego, considerando una relación entre los lados menores entre la base menor y la base mayor de 1:1,7; en la Tabla 27 (véase la página 124), se analizan situaciones para determinar el o los casos que cumplen con todas las condiciones descritas anteriormente.

**Tabla 27.** Dimensiones de la laguna del biodigestor

VOLUMEN REQUERIDO (m3)	221	CRITERIO DE ALTURA	BASE MAYOR		BASE MENOR		% ERROR	CRITERIO PORCENTAJE DE ERROR ≤ 5%
VOLUMEN DE DISEÑO (m3)	PROFUNDIDAD h (m)	ADECUADO/ ERROR	MENOR k=1,7*n (m)	MAYOR 2*k (m)	MENOR n (m)	MAYOR 2,5*n (m)	VOL_DISEÑO Y VOL. DESEADO	INADECUADO/ ÓPTIMO
32	2,00	ERROR	3,40	6,80	2,00	5,00	-586,0%	INADECUADO
33	2,01	ERROR	3,42	6,84	2,01	5,03	-576,1%	INADECUADO
33	2,01	ERROR	3,44	6,88	2,02	5,06	-566,5%	INADECUADO
34	2,02	ERROR	3,46	6,92	2,04	5,09	-557,0%	INADECUADO
86	2,40	ADECUADO	5,05	10,10	2,97	7,43	-158,3%	INADECUADO
86	2,41	ADECUADO	5,07	10,15	2,98	7,46	-155,7%	INADECUADO
87	2,41	ADECUADO	5,09	10,19	3,00	7,49	-153,2%	INADECUADO
179	2,82	ADECUADO	6,75	13,49	3,97	9,92	-23,6%	INADECUADO
216	2,94	ADECUADO	7,26	14,51	4,27	10,67	-2,3%	INADECUADO
218	2,95	ADECUADO	7,28	14,55	4,28	10,70	-1,6%	INADECUADO
219	2,95	ADECUADO	7,30	14,59	4,29	10,73	-0,8%	INADECUADO
221	2,96	ADECUADO	7,32	14,63	4,30	10,76	-0,1%	INADECUADO
222	2,96	ADECUADO	7,34	14,67	4,32	10,79	0,6%	OPTIMO
224	2,97	ADECUADO	7,36	14,72	4,33	10,82	1,4%	OPTIMO
226	2,97	ADECUADO	7,38	14,76	4,34	10,85	2,1%	OPTIMO
227	2,98	ADECUADO	7,40	14,80	4,35	10,88	2,8%	OPTIMO
229	2,98	ADECUADO	7,42	14,84	4,36	10,91	3,5%	OPTIMO
231	2,99	ADECUADO	7,44	14,88	4,38	10,94	4,2%	OPTIMO
232	2,99	ADECUADO	7,46	14,92	4,39	10,97	4,8%	OPTIMO
234	3,00	ADECUADO	7,48	14,96	4,40	11,00	5,5%	INADECUADO
236	3,00	ADECUADO	7,50	15,00	4,41	11,03	6,2%	INADECUADO

De la Tabla 27 (véase la página 124), lo del color amarillo indica los escenarios óptimos para el diseño por tener valores con porcentajes de error menores al 5% al comparar el volumen calculado respecto al volumen deseado, cumpliéndose a la vez, que la altura esta entre 2,4 y 8 m, a partir de ellos se seleccionaron las dimensiones que cumplen con el biodigestor con el objeto de obtener un margen de error aceptable al comparar estas dimensiones con el programa Biodigestor-PRO versión 3.0 (enmarcado en un rectángulo rojo). En la Figura 40 se resumen las dimensiones de la laguna del biodigestor en forma de tronco de pirámide trunca (en vistas isométrica, de planta y lateral).

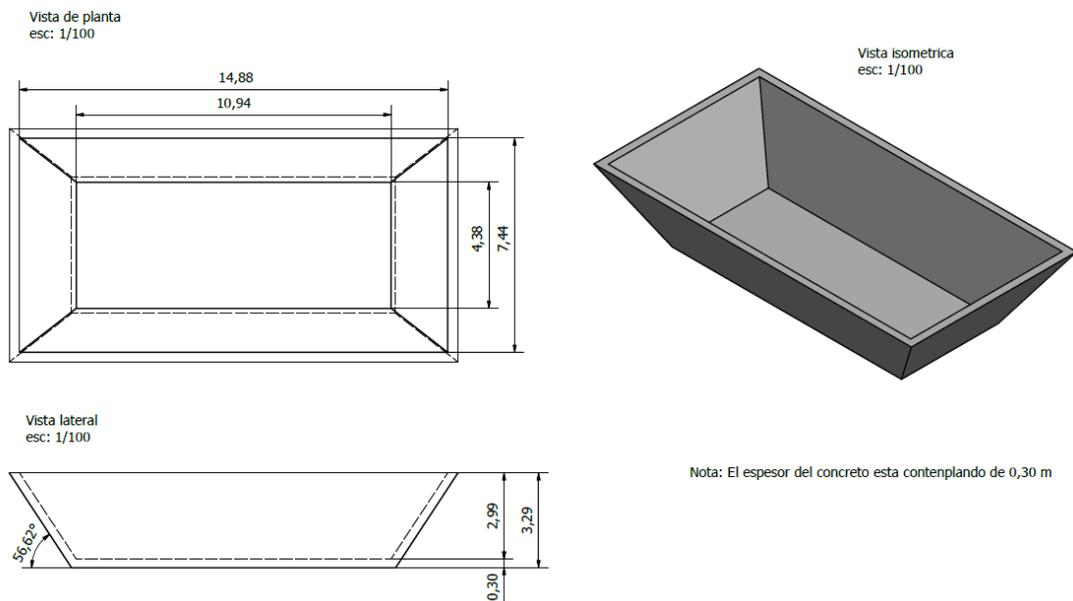


Figura 40. Dimensiones de la laguna del biodigestor (m).

### c.5. Cúpula del biodigestor tipo laguna cubierta

Teniendo en consideración que el biogás generado ocupa el volumen requerido para la cúpula, por lo que  $V_{cúpula} = \dot{Q}_{biogás}$  y llevando a cabo un análisis en la vista frontal de la laguna del biodigestor (véase la Figura 40 en la página 125), se remplazaron las ecuaciones (60) y (20) en la ecuación (19) para determinar la altura de la cúpula  $h$  (m):

$$186,21 \frac{m^3}{día} * 1 día * \left( \frac{1 ft^3}{0.029 m^3} \right) = \frac{2}{3} * b * h * L * 1,25 * 1,05 ,$$

$$186,21 \frac{m^3}{día} * 1 día * \left( \frac{1 ft^3}{0.029 m^3} \right) = \frac{2}{3} * 24,40 ft * h * 48,82 ft * 1,25 * 1,05 ,$$

$$h = 6,16 ft ,$$

Pasando la altura ( $h$ ) de pies a metros:

$$h = 1,88 m . \tag{73}$$

El cálculo de la longitud de la cubierta de la laguna ayuda a determinar cuántos metros de geomembrana de 1 mm de espesor se va a utilizar en la instalación.

La Figura 41 (véase la página 127) muestra las dimensiones de la sección de la cúpula, en una vista frontal de la laguna del biodigestor.

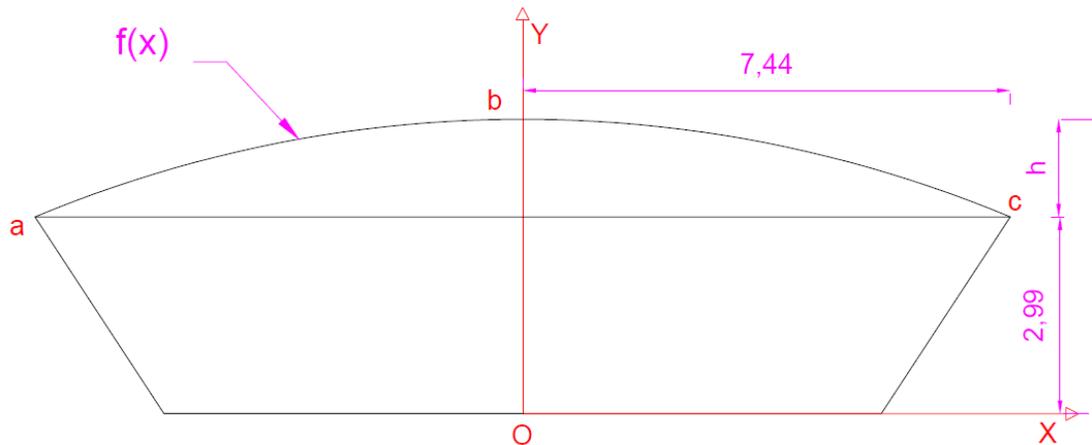


Figura 41. Dimensiones de la cúpula del biodigestor (en metros).

De la Figura 41, se denota que la función que describe el tramo  $\widehat{abc}$ , es mediante la ecuación de una parábola cuyo punto de referencia es el punto O, donde  $x_o = 0$  y  $y_o = 0$ . La ecuación (74), es la función del tramo  $\widehat{abc}$ .

$$f(x) = -n * x^2 + H . \quad (74)$$

Donde:

$$H = 2,99 + h . \quad (75)$$

Evaluamos en el punto  $x = 7,44$  m;  $f(x) = y = 2,99$  m y remplazamos en la ecuación (74) para determinar la constante n:

$$f(7,44) = 2,99 = -n * (7,44)^2 + 2,99 + 1,88 ,$$

$$n = 0,029 . \quad (76)$$

Remplazando la ecuación (76) en la ecuación (74) se determina la función de la parábola:

$$f(x) = -0,029 * x^2 + 4,87 . \quad (77)$$

Se determinó el ángulo  $\alpha$ , el cual, es la elevación hasta donde inicia la longitud de la cúpula, el cual se determina en base a la ecuación (78). Véase una representación de  $\alpha$  en la Figura 42.

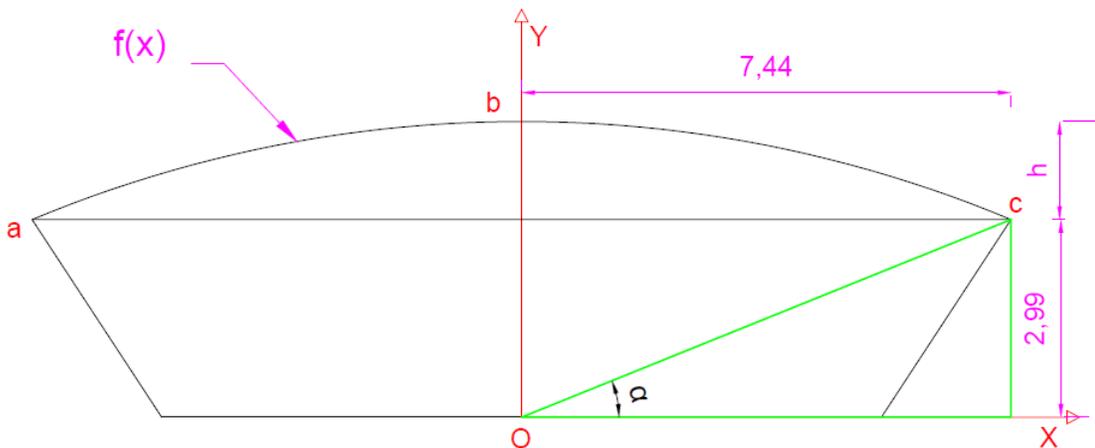


Figura 42. Representación del ángulo  $\alpha$ .

$$\tan(\alpha) = \frac{y}{x} . \quad (78)$$

$$\tan(\alpha) = \frac{2,99}{7,44} ,$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{2,99}{7,44}\right) ,$$

$$\alpha = 21,89^\circ ,$$

Pasando el ángulo de grados sexagesimales a radianes:

$$\alpha = 21,89^\circ * \frac{\pi}{180^\circ} ,$$

$$\alpha = 21,89^\circ * \frac{\pi}{180^\circ} ,$$

$$\alpha = 0,12 * \pi . \quad (79)$$

Se deriva la ecuación (77) respecto de x, obteniéndose la ecuación (80):

$$f'(x) = \frac{dy}{dx} = -0,058 * x . \quad (80)$$

Se calculó la longitud del arco  $\widehat{abc}$ : 2S; mediante la ecuación (81):

$$2S = 2 \int_a^b \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx . \quad (81)$$

Desarrollando la ecuación (81) se obtuvo la ecuación (82), en el Anexo L, se encuentra el detalle del desarrollo de la ecuación (81), cálculo del área de la geomembrana.

$$2S = 15,32 \text{ m} . \quad (82)$$

- **Área total de la geomembrana ( $A_{geomembrana}$ )**

El área de la geomembrana ( $A_{geomembrana}$ ) para el biodigestor tipo laguna cubierta, implica los metros cuadrados necesarios de geomembrana para cubrir la laguna en forma trapezoidal ( $A_{laguna}$ ), el anclaje de seguridad

( $A_{anclaje}$ ) y la cúpula ( $A_{cúpula}$ ), mediante la sumatoria, expresada en la ecuación (83):

$$A_{geomembrana} = A_{laguna} + A_{anclaje} + A_{cúpula} \cdot \quad (83)$$

- **Área de la laguna ( $A_{laguna}$ )**

Para determinar el área de la laguna del biodigestor sumaremos la parte superficial interior del tronco de pirámide determinado, los cuales están conformados por los trapecios laterales y la base, véase estas superficies en la Figura 43.

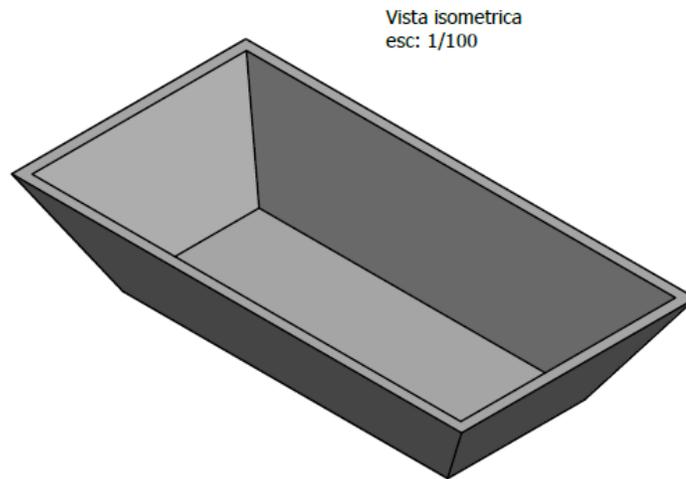


Figura 43. Vista isométrica que muestra las caras laterales de laguna del biodigestor.

Denotando en una expresión matemática, el  $A_{laguna}$  será determinada por la ecuación (84).

$$A_{laguna} = 2 * A_{trap. menor} + 2 * A_{trap. mayor} + A_{base} \cdot \quad (84)$$

donde:

$A_{trap. menor}$                       Área del trapecio menor (m<sup>2</sup>)

$A_{trap. mayor}$       Área del trapecio mayor ( $m^2$ )  
 $A_{base}$               Área de la base ( $m^2$ )

Considerando las dimensiones mostradas en la Figura 40 (véase la página 125), se calculó el área del trapecio menor, obteniéndose la ecuación (85):

$$A_{trap. menor} = 2 * \left( \frac{7,44+4,38}{2} \right) * 3,59 m^2 ,$$

$$A_{trap. menor} = 42,43 m^2 . \quad (85)$$

Considerando las dimensiones mostradas en la Figura 40 (véase la página 125), se calculó el área del trapecio mayor, obteniéndose la ecuación (86):

$$A_{trap. mayor} = 2 * \left( \frac{14,88+7,44}{2} \right) * 3,36 m^2 ,$$

$$A_{trap. mayor} = 74,99 m^2 . \quad (86)$$

Considerando las dimensiones mostradas en la Figura 40 (véase la página 125), se calculó el área de la base, obteniéndose la ecuación (87):

$$A_{base} = 10,94 * 4,38 m^2 ,$$

$$A_{base} = 47,91 m^2 . \quad (87)$$

Reemplazando las ecuaciones (85), (86) y (87) en la ecuación (84):

$$A_{laguna} = 2 * 74,99 + 2 * 42,43 + 47,91 ,$$

$$A_{laguna} = 165,33 \text{ m}^2 . \quad (88)$$

- **Área de la viga de anclaje ( $A_{anclaje}$ ):**

La viga de anclaje está conformada por un canal en forma de U, rectos de 0,3x0,3 m y fondo 0,3 m en cuyo borde está fijado el biodigestor a base de pernos anclados. El área de la viga de anclaje se determinó en función de la ecuación (89).

$$A_{anclaje} = 2 * A_{long. mayor} + 2 * A_{long. menor} . \quad (89)$$

donde:

$A_{long. mayor}$  Área lateral correspondiente a la longitud de 14,88 m (m<sup>2</sup>)

$A_{long. menor}$  Área lateral correspondiente a la longitud de 7,44 m (m<sup>2</sup>)

Respecto, al área del anclaje en la Figura 44, se especifica, en una vista de detalle, los valores de las dimensiones que la geomembrana deberá de cubrir:

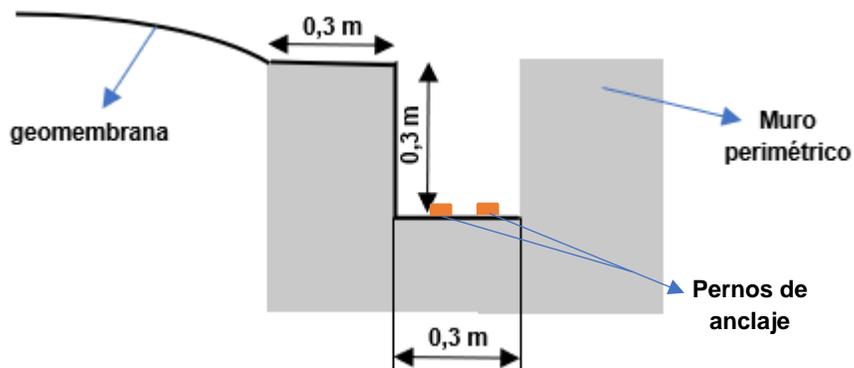


Figura 44. Detalle de la geomembrana para anclaje.

Reemplazando las dimensiones en la ecuación (89):

$$A_{anclaje} = 2 * ((0,3 + 0,3 + 0,3) * 14,88) + 2 * ((0,3 + 0,3 + 0,3)) * 7,44 \text{ m}^2 ,$$

$$A_{anclaje} = 40,18 \text{ m}^2 . \quad (90)$$

- **Área de la cúpula ( $A_{cúpula}$ ):**

$$A_{cúpula} = 2S * L . \quad (91)$$

donde:

2S: Longitud de la curva  $\widehat{abc}$  (m);

L: Distancia de lado menor (m)

Reemplazando la ecuación (82) y la dimensión del lado menor, según lo mostrado en la Figura 40 (véase la página 125) en la ecuación (91), asimismo se consideró un margen de reserva del 1%:

$$A_{cúpula} = 15,32 * 7,44 ,$$

$$A_{cúpula} = 113,99 * \left(1 + \frac{1\%}{100\%}\right) \text{ m}^2 ,$$

$$A_{cúpula} = 115,13 \text{ m}^2 . \quad (92)$$

En la Figura 45 (véase la página 134) se representa la vista de planta de la laguna, mostrando las dimensiones de la base mayor y de la base menor del tronco de pirámide.

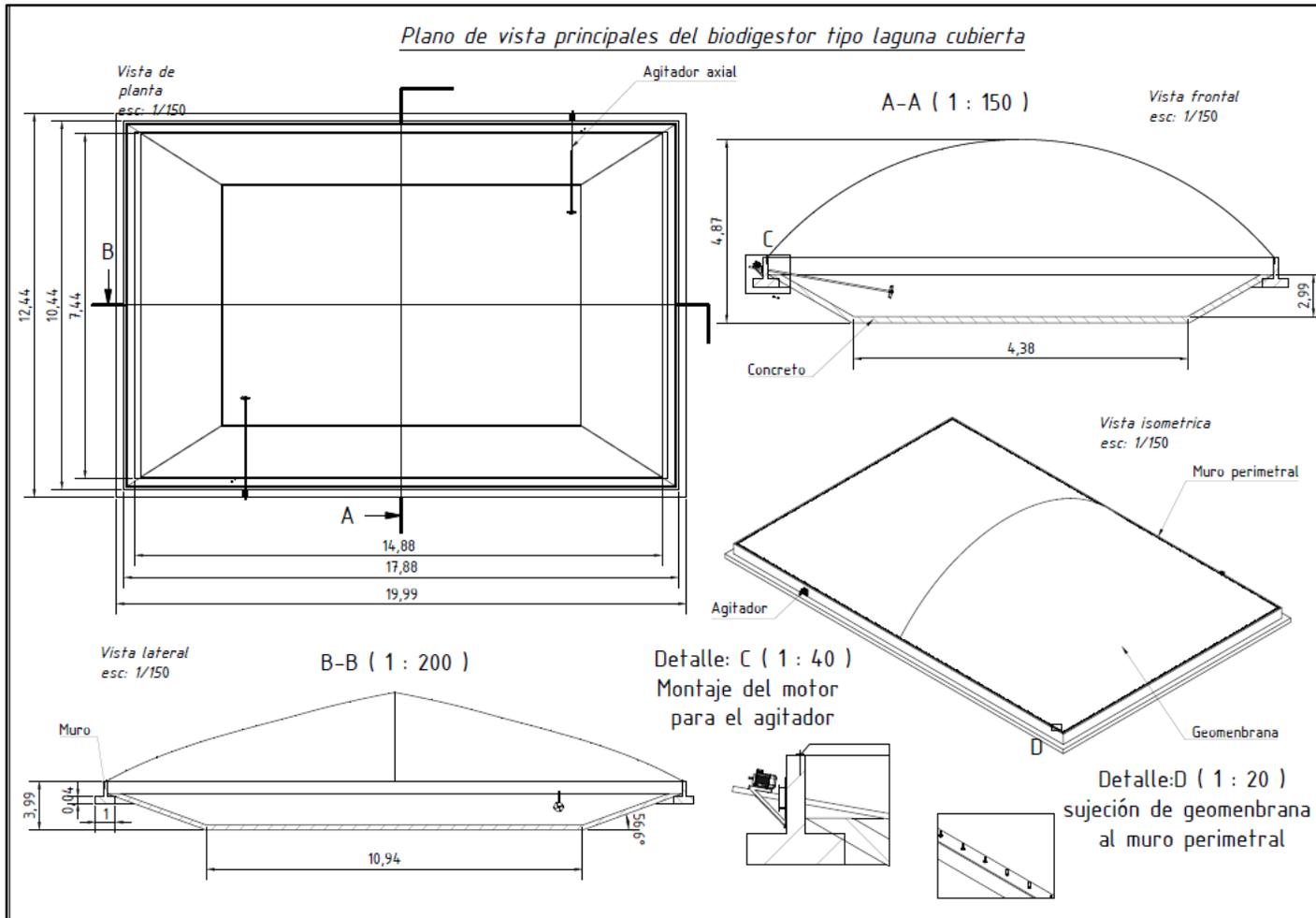


Figura 45. Vistas principales del biodigestor tipo laguna.

Para determinar el área total requerida de la geomembrana, se reemplazaron las ecuaciones (88), (90) y (92) en la ecuación (83):

$$A_{geomembrana} = 165,33 \text{ m}^2 + 40,18 \text{ m}^2 + 115,13 \text{ m}^2 ,$$

$$A_{geomembrana} = 319,5 \text{ m}^2 . \quad (93)$$

Se necesita un área total aproximada de  $319,5 \text{ m}^2$  de geomembrana para poder cubrir el biodigestor tipo laguna cubierta.

#### **c.6. Dimensionamiento de la laguna de descarga para el biol**

En la presente investigación se dimensionó la laguna de biol de forma rectangular, la relación de lados es de 1 a 2, ancho y largo respectivamente con la capacidad de almacenar durante 3 días los efluentes del biodigestor, la laguna de descarga está cubierta con geomembrana toda la superficie con la finalidad de evitar filtraciones sobre la capa freática y se recomienda que esté bajo techo de esta manera cuando llueva evitar que se mezcle con el biol.

#### **- Cálculo del volumen para la descarga del biol.**

$$V_{biol}(\text{m}^3) = V_{TA} * 3 \text{ días} . \quad (94)$$

Reemplazando la ecuación (65) en la ecuación (94):

$$V_{biol}(\text{m}^3) = 6,28 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * 3 \text{ d} ,$$

$$V_{biol}(\text{m}^3) = 18,84 \text{ m}^3 . \quad (95)$$

En la Tabla 28 se analizan las opciones de las dimensiones para la laguna de descarga para el biol.

**Tabla 28.** Dimensiones de la laguna de descarga para el biol

VOLUMEN DESEADO (m <sup>3</sup> )	18.84	MENOR k (m)	MAYOR 2k (m)	% DE ERROR MAX 5%	DIMENSIONAMIENTO OPTIMO
VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	PROFUNDIDAD h (m)				
12.50	1.00	2.50	5.00	-51	INADECUADO
13.66	1.05	2.55	5.10	-38	INADECUADO
14.87	1.10	2.60	5.20	-27	INADECUADO
16.15	1.15	2.65	5.30	-17	INADECUADO
17.50	1.20	2.70	5.40	-8	INADECUADO
<b>18.91</b>	<b>1.25</b>	<b>2.75</b>	<b>5.50</b>	<b>0</b>	<b>OPTIMO</b>
20.38	1.30	2.80	5.60	8	INADECUADO
21.93	1.35	2.85	5.70	14	INADECUADO
23.55	1.40	2.90	5.80	20	INADECUADO
25.24	1.45	2.95	5.90	25	INADECUADO
27.00	1.50	3.00	6.00	30	INADECUADO
28.84	1.55	3.05	6.10	35	INADECUADO
41.52	1.85	3.35	6.70	55	INADECUADO
43.93	1.90	3.40	6.80	57	INADECUADO
46.42	1.95	3.45	6.90	59	INADECUADO
49.00	2.00	3.50	7.00	62	INADECUADO
51.67	2.05	3.55	7.10	64	INADECUADO
54.43	2.10	3.60	7.20	65	INADECUADO
57.29	2.15	3.65	7.30	67	INADECUADO

De la Tabla 28, lo resaltado en amarillo, indica las dimensiones de la laguna de descarga para el almacenamiento del biol óptimas, las cuales cumplirían con la relación de 1:2 entre las dimensiones ancho/largo, así como con prácticamente un nulo porcentaje de error entre el volumen deseado y el volumen calculado. Las dimensiones de la laguna de descarga serán:

- Largo = 5,50 m
- Ancho = 2,75 m
- Altura = 1,25 m

Para un volumen de la laguna de descarga del biol de diseño ( $V_{biol\_diseño}$ ) de:

$$V_{biol\_diseño} = 18,91 \text{ m}^3 . \quad (96)$$

En la Figura 46 se representan el isométrico de la laguna de descarga del biol, así como las dimensiones principales de una vista de planta y de una vista lateral.

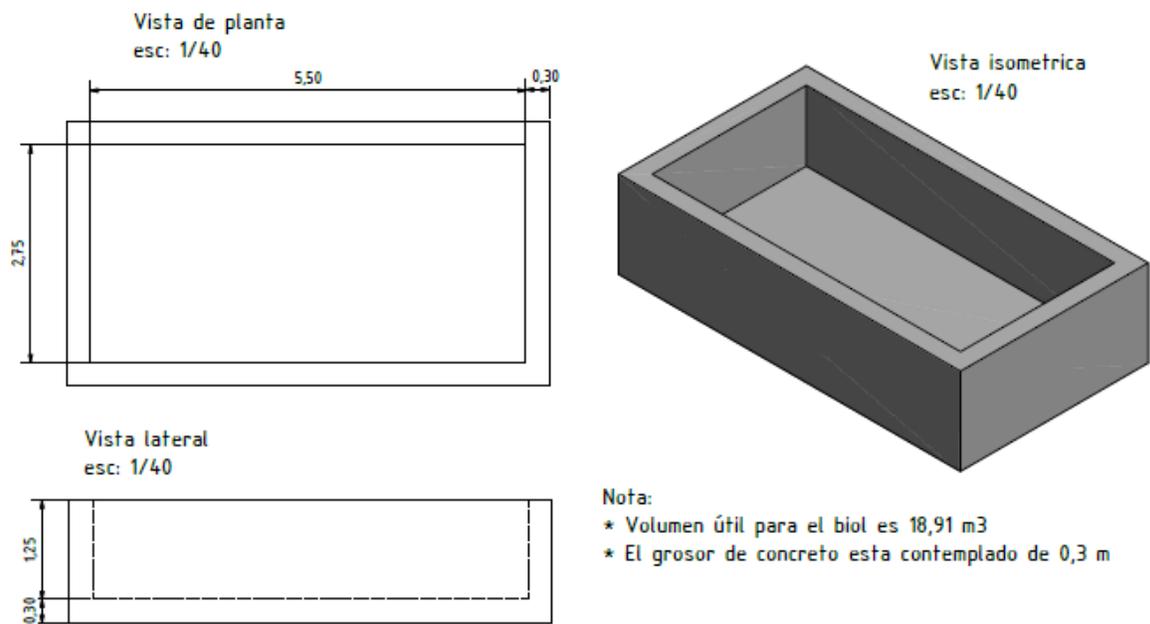


Figura 46. Vistas principales laguna de descarga del biol.

- **Área de la geomembrana para laguna de descarga del biol**

Es necesario cubrir toda el área de la laguna de descarga del biol con geomembrana, para prevenir filtraciones de agua subterránea.

- **Área de la laguna de descarga del biol ( $A_{laguna\_biol}$ )**

Esta área determina la geomembrana necesaria para la laguna del biol, y es calculada con la ecuación (97)

$$A_{laguna\_biol} = a * b + 2 * (a * c + b * c) . \quad (97)$$

donde:

$a$ : Longitud del lado mayor (largo) (m)

$b$ : Longitud del lado menor (ancho) (m)

$c$ : Longitud de la profundidad (m)

Reemplazando las dimensiones de la Figura 46 (véase la página 137) en la ecuación (97):

$$A_{laguna\_biol} = 5,5 * 2,75 + 2 * (5,5 * 1,25 + 2,75 * 1,25) (m^2) ,$$

$$A_{laguna\_biol} = 35,75 m^2 . \quad (98)$$

**c.7. Diseño lecho de secado para lodos**

La presente investigación tomó el máximo porcentaje de degradación. Según Romero (2014), el 25% de la masa volátil se sedimenta en el fondo del biodigestor. Por lo que la masa de lodos ( $M_{lodo}$ ), se determina por la ecuación (99):

$$M_{lodo} = 25\% * MV (kg) + MH * Ceniza(\%) . \quad (99)$$

Reemplazando la ecuación (48), (37) en la ecuación (99):

$$M_{lodo} = \frac{25\%}{100\%} * 506,52 \text{ kg} + 2257,2 * \frac{3,06\%}{100\%},$$

$$M_{lodo} = 195,7 \text{ kg}. \quad (100)$$

- **Cálculo del área del lecho de secado**

Según el registro el promedio de la temperatura ambiental en Huaral durante los años 2017, 2018, 2019 es aproximadamente 19 °C, y al ser este menor a los 21 °C, la tasa de aplicación de lodos (TAL) que le corresponde sería de 25 kg/m<sup>2</sup>.

Por lo que, el área del lecho de secado ( $A_{secado}$ ) fue determinada por la ecuación (101):

$$A_{secado} = \frac{M_{lodo}}{TAL} . \quad (101)$$

Reemplazando la ecuación (100) en la ecuación (101):

$$A_{secado} = \frac{195,7}{25} \text{ m}^2 ,$$

$$A_{secado} = 7,82 \text{ m}^2 . \quad (102)$$

Se necesita un área de 8 m<sup>2</sup>, para el lecho de secado de lodos, donde la altura está comprendida de 0,2 a 0,4 m según la Organización Panamericana de la

Salud y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (OPS/CEPIS), (2005).

La relación de ancho, largo estaría comprendida de 1 a 2 ó 1 a 3 respectivamente, esto dependería según el área de terreno a instalar. Para esta investigación, se tomó la relación de 1 a 2.

- **Dimensiones del lecho de secado de lodos**

- Ancho = 2,00 m
- Largo = 4,00 m
- Altura = 0,4 m
- $A_{\text{secado\_diseño}} = 8,00 \text{ m}^2$

Para un volumen de 3,2 m<sup>3</sup>.

**c.8. Dimensionamiento de tubería para el biogás**

Las tuberías de captación de biogás deben ser instaladas en los laterales del biodigestor tipo laguna las cuales atraviesan por el muro perimetral, estas deberán ser de materiales polietileno de alta densidad o similares, ya que estos no son afectados por el ácido sulfúrico que genera el biogás. A lo largo de la línea se instalarán los codos, válvulas, filtro de remoción de  $H_2S$ , tren de calibración para el biogás, soplador, medidor de biogás, sensores.

- **Cálculo hidráulico para el biogás**

La captación del biogás dentro del biodigestor se dirigirá por todo el tramo de la tubería hasta el punto del soplador, sin sufrir cambios de temperatura y por ende no sufrirá cambio en la densidad.

El dimensionamiento de la tubería del biogás se realizó para 8 horas en base a las horas laborables de funcionamiento de la planta. En base a ello, haciendo la conversión en base a la ecuación (60), se tiene:

$$Q = 186,21 \frac{m^3}{d} = 6,47 \times 10^{-3} m^3/s . \quad (103)$$

Reemplazando la ecuación (103) en la ecuación (21):

$$D(m) = \sqrt{\frac{4 \cdot 6,47 \times 10^{-3}}{\pi \cdot 3}}$$

$$D = 0,053 m ,$$

$$D = 53 mm . \quad (104)$$

Seleccionando el diámetro nominal en la Figura 47:

PE 100	SDR 7.4		SDR 9		SDR 11		SDR 13.6		SDR 17	
	PN 25		PN 20		PN 16		PN 12.5		PN 10	
Diámetro Nominal (mm)	Espesor (mm)	Peso (Kg / m)								
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	3.00	0.16	2.30	0.13	2.00	0.12	-	-	-	-
25	3.50	0.24	3.00	0.21	2.30	0.17	2.00	0.15	-	-
32	4.40	0.39	3.60	0.33	3.00	0.28	3.00	0.23	2.00	0.20
40	5.50	0.61	4.50	0.51	3.70	0.43	2.40	0.36	2.40	0.30
50	6.90	0.94	5.60	0.79	4.60	0.67	3.70	0.55	3.00	0.45
63	8.60	1.48	7.10	1.27	5.80	1.056	4.70	0.88	3.80	0.72
75	10.30	2.11	8.40	1.78	6.80	1.48	5.60	1.24	4.50	1.02
90	12.30	3.03	10.10	2.56	8.20	2.14	6.70	1.78	5.40	1.46

Figura 47. Tubos Pead bajo la norma ISO 4427, PE 100.

Fuente: Catalogo de infraestructura polietileno de alta densidad.

Según la Figura 47, seleccionamos el diámetro nominal, este será el inmediatamente superior al de diseño y seleccionando una presión nominal de 10 bar (PN10):

Diámetro nominal seleccionado ( $\emptyset_N$ ) 63 mm.

Diámetro interno seleccionado ( $\emptyset_{int}$ ) 59,2 mm.

Se recalcula la velocidad del biogás que fluye por la tubería seleccionada y de esta manera poder determinar si es flujo turbulento según la ecuación de número de Reynolds (Re).

Recalculando la velocidad ( $v$ ), de acuerdo a la ecuación (105):

$$v \left( \frac{m}{s} \right) = \frac{Q}{\pi * \frac{\emptyset_{int}^2}{4}} . \quad (105)$$

Reemplazando el  $\emptyset_{int}$  y la ecuación (103) en la ecuación (105):

$$v \left( \frac{m}{s} \right) = \frac{0,00647}{\pi * \frac{(0,0592)^2}{4}} ,$$
$$v = 2,36 \frac{m}{s} . \quad (106)$$

Considerando los datos de densidad ( $\rho$ ) y viscosidad dinámica ( $\mu$ ) para determinar el número de Reynolds ( $R_e$ ).

$$\rho = 1,06 \text{ kg/m}^3 . \quad (107)$$

$$\mu = 1,38 \times 10^{-5} \left( \frac{kg}{m.s} \right) . \quad (108)$$

Reemplazando las ecuaciones (107) y (108) en la ecuación (5):

$$R_e = \frac{1,06 * 2,36 * 0,0592}{1,38 \times 10^{-5}} ,$$

$$R_e = 1,074 \times 10^4 . \quad (109)$$

Comprobando que el flujo se encuentra en zona turbulenta.

- **Determinación de las pérdidas de carga**

Para esta investigación, las pérdidas de carga que se manifiestan son debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de las tuberías por donde se conducen. Las pérdidas son continuas a lo largo de la tubería, por otro lado, también se manifestarán pérdidas localizadas en los codos, válvulas, etc.

En una red de tuberías de conducción de fluido se manifiestan dos tipos de pérdidas:

- **Pérdidas primarias**

Estas se manifiestan en los tramos rectos de las tuberías. En el caso del flujo turbulento, mediante la ecuación de Darcy-Weisbach, ecuación (2):

- **Pérdidas secundarias**

Para evaluar estas pérdidas secundarias se usará el método de longitud equivalente, definiéndose la longitud equivalente, como longitud de tramo recto de tubería que produce las mismas pérdidas de carga que el accesorio, para lo cual se hará uso de la Figura 3 (véase la página 26).

Debido que la velocidad determinada según la ecuación (106) fue de 2,36 m/s, el cual es inferior a 35 m/s, para determinar las pérdidas de presión se usará la ecuación (9).

En la Figura 48 (véase la página 145) se muestra el esquema para la captación del biogás, con la denominación de los puntos a analizar en el cálculo hidráulico.

## Esquema de captación para el biogás

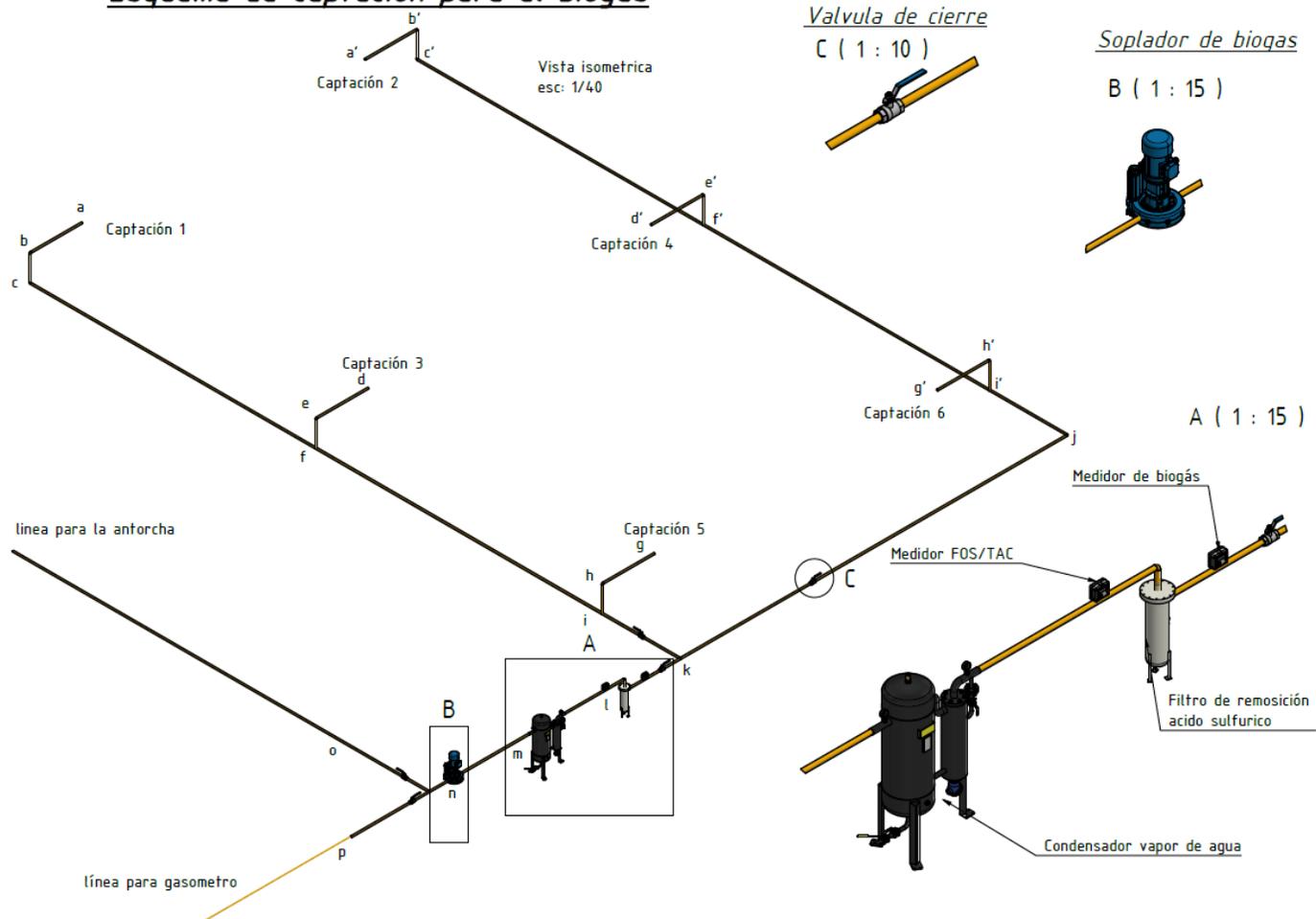


Figura 48. Esquema de la red de tuberías de biogás.

En la Tabla 29 se resumen las longitudes, los accesorios, como codos de 90 ° y codos T y la válvula que se encuentra para cada tramo a analizar.

**Tabla 29.** Longitudes, accesorios y válvulas de los tramos en el esquema del biogás

<b>Longitudes de la tubería en el esquema de biogás</b>				
<b>N° de Línea</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Codos 90 ° (und)</b>	<b>Codos T (und)</b>	<b>Válvula (und)</b>
Tramo a - b	1	0	0	0
Tramo b - c	0,5	1	0	0
Tramo c - f	3,5	1	1	0
Tramo d - e	1	0	0	0
Tramo e - f	0,5	1	0	0
Tramo f - i	3,5	0	0	0
Tramo g - h	1	0	0	0
Tramo h - i	0,5	1	0	0
Tramo i - k	2	0	1	1
Tramo a' - b'	1	0	0	0
Tramo b' - c'	0,5	1	0	0
Tramo c' - f'	3,5	1	1	0
Tramo d' - e'	1	0	0	0
Tramo e' - f'	0,5	1	0	0
Tramo f' - i'	3,5	0	0	0
Tramo g' - h'	1	0	0	0
Tramo h' - i'	0,5	1	0	0
Tramo i' - j	2	1	1	0
Tramo j - k	7,5	1	1	1
Tramo k - l	8	1	0	0
Tramo l - m	10	2	0	0
Tramo m - n	6	0	0	0
Tramo n - o	10	0	1	1
Tramo n - p	15	0	1	1

- **Pérdidas de carga en tramo a-f.**

Calculando el diámetro de la tubería, considerando que serán 6 las tomas que se dimensionó, el caudal en cada una de ellas será la 1/6 parte del caudal que se especifica en la ecuación (60).

$$Q_{a-f} : \left(\frac{186,21}{6}\right) \frac{m^3}{d} = 1,08 \times 10^{-3} \text{ m}^3/s . \quad (110)$$

Reemplazando la ecuación (110) en la ecuación (21), para el tramo a-f:

$$D_{a-f}(m) = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,08 \times 10^{-3}}{\pi \cdot 3}} ,$$

$$D_{a-f} = 0,021 \text{ m} ,$$

$$D_{a-f} = 21 \text{ mm} . \quad (111)$$

Con la ecuación (111), se selecciona el diámetro nominal ( $DN_{a-f}$ ) en la Figura 47 (véase la página 141).

$$DN_{a-f} = 25 \text{ mm} . \quad (112)$$

Para un espesor de 2 mm y PN 12,5. El diámetro interno del tramo a-f será ( $D_{int(a-f)}$ ) será:

$$D_{int(a-f)} = 23 \text{ mm} . \quad (113)$$

Recalculando la velocidad del biogás que fluye en el tramo a-f, según la ecuación (105).

$$v \left( \frac{m}{s} \right) = \frac{1,08 \times 10^{-3}}{\pi \cdot \frac{(0,023)^2}{4}},$$

$$v = 2,59 \frac{m}{s}. \quad (114)$$

Calculando el número de Reynolds, al reemplazar las ecuaciones (107), (113) y (114) en la ecuación (5):

$$R_e = \frac{1,06 \cdot 2,59 \cdot 0,023}{1,38 \times 10^{-5}},$$

$$R_e = 4,6 \times 10^3. \quad (115)$$

El flujo se encuentra en zona turbulenta.

- **Determinamos el factor de fricción**

Con los datos calculados en los pasos anteriores, se obtendrá el factor de fricción en el tramo a-f.

Según la Tabla 1 (véase la página 24), la rugosidad ( $e$ ) para tuberías de plástico es:

$$e = 0,0015 \text{ mm}. \quad (116)$$

Luego, reemplazando las ecuaciones (116), (115) y (113) en la ecuación (4) - Swamee-jain:

$$f = \frac{0,25}{\left[ \log_{10} \left( \frac{0,0015}{3,7 \cdot 0,023} + \frac{5,74}{(4,5 \times 10^3)^{0,9}} \right) \right]^2},$$

$$f = 0,0878. \quad (117)$$

- **Perdida primaria en el tramo a-f**

Se dan por el contacto del fluido con las paredes de las tuberías y conductos.

Remplazando los datos del tramo a-f, así como la longitud de las tuberías dadas en la Tabla 29 (véase la página 146) y las ecuaciones (117), (113) y (114) en la ecuación (2).

$$h_L = 0,0878 * \frac{5}{0,023} * \frac{2,59^2}{2*9,81} ,$$
$$h_L = 6,55 \text{ m} . \quad (118)$$

- **Pérdidas secundarias ( $h_s$ ) en el tramo a-f**

Se dan por cambios de dirección del biogás y la velocidad del fluido en válvulas, codos, aberturas grandes, y súbitas entre otros, por lo que considerando la ecuación (119) para todos los componentes de la línea a-f y para todas las líneas,  $h_s$  será:

$$h_s = \sum K_s * \left( \frac{v^2}{2*g} \right) . \quad (119)$$

Para determinar el factor  $K_s$  de los accesorios se utiliza la Figura 3 (véase la página 26).

En el esquema de tubería, para el tramo a-f, se puede notar que hay 2 codos de 90° y la captación del biogás en los puntos a, d, g, a', b' y c'; serán considerados de contracción brusca (véase la Figura 5 en la página 27).

De modo que, con la ayuda de la Figura 3 (véase la página 26), el factor  $K_s$  de cada codo, será:

$$K_s = 0,32 . \quad (120)$$

De la Figura 5 (véase la página 27) se selecciona el  $K_s$  en la captación del biogás.

$$K_s = 0,42 . \quad (121)$$

Reemplazando las ecuaciones (114), (120) y (121) en la ecuación (119):

$$h_s = \frac{(2,59)^2}{2 * 9,81} * (0,42 + 2 * 0,32),$$

$$h_s = 0,36 \text{ m}. \quad (122)$$

#### - Cálculo de presión en el punto f

La presión absoluta al interior del biodigestor, no debe superar los 3 mbar y esta presión será la misma en las tomas de biogás (en los puntos a, d, g, a', d' y g'), por lo que la presión  $P_a$  será:

$$P_a = 3 \text{ mbar} + 1 \text{ atm} = 300 \text{ Pa} + 101325 \text{ Pa} .$$

$$P_a = 101625 \text{ Pa} . \quad (123)$$

Aplicando la ecuación (9) en el tramo a-f, se tiene.

$$((P_a)^2 - (P_f)^2) = \frac{R * T}{M} * (4 * f) * \frac{G^2 * L_{a-f}}{D_{int(a-f)}} . \quad (124)$$

Datos:

$$M = 62,8\% \text{ CH}_4 = 0,026 \text{ kg/mol} . \quad (125)$$

$$R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} * \text{K}} . \quad (126)$$

$$T = 19 \text{ } ^\circ\text{C} + 273 = 292 \text{ K} . \quad (127)$$

$$G = \rho \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) * v \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) . \quad (128)$$

Reemplazando las ecuaciones (107) y (114) en la ecuación (128):

$$G = 1,06 * 2,59 ,$$

$$G = 2,75 \left( \frac{kg}{m^2 * s} \right) . \quad (129)$$

Luego, para determinar el valor de L, se reemplazará la longitud del tramo a-f ( $L_{tubería}$ ) y la longitud debido a las pérdidas ( $L_{p.tub} + \sum L_{eq\_accesorios}$ ), de acuerdo a la ecuación (130):

$$L_{a-f} = L_{tubería} + L_{p.tub} + \sum L_{eq\_accesorios} . \quad (130)$$

$$L_{a-f} = 5 m + 6,55 m + 0,36 m = 11,91 m . \quad (131)$$

Remplazamos las ecuaciones (113), (117), (123), (125), (126), (127) y (129), en la ecuación (124).

$$P_f^2 = (101625)^2 - \frac{8,314 * 292}{0,026} * (4 * 0,0878) * \frac{(2,75)^2 * 11,91}{0,023} ,$$

$$P_f = 100990,8 Pa . \quad (132)$$

Determinando la caída de presión en el tramo a-f.

$$\Delta P_{a-f} = 101625 Pa - 100990,8 Pa ,$$

$$\Delta P_{a-f} = 634,25 Pa ,$$

$$\Delta P_{a-f} = 6,34 mbar . \quad (133)$$

Análogamente fueron determinados cada uno de los parámetros, incluyendo la caída de presión, de los tramos establecidos en la Figura 48 (véase la página 145), los resultados se muestran en la Tabla 30 (véase la página 152).

**Tabla 30.** Determinación del diámetro, la caída de presión y otras características por tramos

Tramo	Long (m)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad asumida (m/s)	Ø Diseño (m)	Ø Nominal, catálogo (mm)	Ø Nominal int., catálogo (m)	Velocidad recalculada (m/s)	Re	Factor de fricción f	P. primaria hf (m)	Long. Equi. Ks (m)	P. secundaria hs (m)	Presión abs. inicio (Pa)	Velocidad másica (kg/m <sup>2</sup> .s)	Presión final (Pa)	ΔP (mbar)
a-f	5	0,00108	3	0,02139	25	0,023	2,595	4585,229	0,0878	6,55	1,06	0,36	101625,00	2,75	100990,4	6,35
d-f	1,5	0,00108	3	0,02139	25	0,023	2,595	4585,229	0,0878	1,97	0,74	0,25	101625,00	2,75	101427,3	1,98
f-i	3,5	0,00216	3	0,03025	32	0,029	3,265	7273,123	0,0773	5,07	0	0,00	101427,33	3,46	100922,5	5,05
g-i	1,5	0,00108	3	0,02139	25	0,023	2,595	4585,229	0,0878	1,97	0,74	0,25	101625,00	2,75	101427,3	1,98
i-k	2	0,00324	3	0,03705	40	0,0376	2,913	8414,384	0,0689	1,59	13,62	5,89	101427,3	3,09	101121,7	3,06
a'-f'	5	0,00108	3	0,02139	32	0,029	1,633	3636,561	0,0811	1,90	1,06	0,14	101625,00	1,73	101516,5	1,09
d'-f'	1,5	0,00108	3	0,02139	25	0,023	2,595	4585,229	0,0878	1,97	0,74	0,25	101625,00	2,75	101427,3	1,98
f'-i'	3,5	0,00216	3	0,03025	32	0,029	3,265	7273,123	0,0773	5,07	0	0,00	101427,33	3,46	100922,5	5,05
g'-i'	1,5	0,00108	3	0,02139	25	0,023	2,595	4585,229	0,0878	1,97	0,74	0,25	101625,00	2,75	101427,3	1,98
i'-k	9,5	0,00324	3	0,03705	40	0,0376	2,913	8414,384	0,0689	7,54	14,11	6,10	101427,3	3,09	100679,5	7,48
k-l	8	0,00647	3	0,05240	63	0,0592	2,351	10688,542	0,0575	2,19	25,97	7,31	101179,52	2,49	100984,7	1,95
l-m	10	0,00647	3	0,05240	63	0,0592	2,351	10688,542	0,0575	2,73	0,48	6,53	100984,71	2,49	100769,9	2,15
m-n	6	0,00647	3	0,05240	63	0,0592	2,351	10688,542	0,0575	1,64	0,48	0,14	159399,89	2,49	159345,0	0,55
n-o	10	0,00647	3	0,05240	63	0,0592	2,351	10688,542	0,0575	2,73	20,88	5,88	159344,99	2,49	159213,5	1,31
n-p	15	0,00647	3	0,05240	63	0,0592	2,351	10688,542	0,0575	4,10	20,88	5,88	159344,99	2,49	159168,5	1,76

La pérdida de carga que surge en el filtro de remoción de ácido sulfúrico, a la temperatura en intervalo de 0 °C a 50°C, es la pérdida de presión máxima 5 mbar. (Aqualimpia, s.f.).

- **Pérdidas de carga en el condensado de vapor de agua**

Para el cálculo de la pérdida en la expansión brusca se requerirá el uso de la Figura 4 (véase la página 27) para determinar el valor de  $K_s$ .

Consideraciones que se tiene que realizar:

En la Tabla 30 (véase la página 152), se determinó que el diámetro nominal interior para la línea de biogás (línea l-m) es  $\varnothing 37,6$  mm, al compararlo con el condensador de vapor de agua es muy pequeña,  $D_2 \gg D_1$ , entonces:

$$\frac{D_1}{D_2} \approx 0 . \quad (134)$$

Por lo tanto, de acuerdo a la Figura 4 (véase la página 27),  $K_s=1$ .

Velocidad másica en el tramo línea l-m.

$$G_{l-m} = 2,49 \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{xs}} \right) . \quad (135)$$

Remplazando las ecuaciones (107), (134) y (135) en la ecuación (10).

$$\Delta P_{\text{expansión}} = (1 - 0) x \frac{(2,49)^2}{2 \times 1,06} ,$$

$$\Delta P_{\text{expansión}} = 2,93 \text{ Pa} , \quad (136)$$

Asimismo, para el cálculo de la pérdida en la contracción brusca, se requerirá el uso de la Figura 5 (véase la página 27) para determinar el valor de  $K_s$ .

Las pérdidas de la contracción brusca son determinadas en base a la ecuación (10). Teniendo el mismo criterio considerado en la expansión brusca, para una contracción brusca en la que  $\frac{D_2}{D_1} \approx 0$ , de acuerdo a la Figura 5 (véase la página 27), el coeficiente de pérdida ( $K_s$ ) correspondiente es 0,42, entonces la ecuación (10), se reduce a la ecuación (137).

$$\Delta P_{reducción} = 0,42x \frac{G_1^2}{2x\rho_{biogás}} . \quad (137)$$

Remplazando las ecuaciones (107) y (135) en la ecuación (137), se tiene:

$$\Delta P_{reducción} = 0,42x \frac{2,49^2}{2x1,06} Pa$$

$$\Delta P_{reducción} = 1,23 Pa. \quad (138)$$

Luego, la pérdida total ( $\Delta P_{total\_cond}$ ) en el condensador del agua:

$$\Delta P_{total\_cond} = \Delta P_{expansión} + \Delta P_{reducción} . \quad (139)$$

$$\Delta P_{total\_cond} = 2,93 Pa + 1,23 Pa = 4,16 Pa ,$$

$$\Delta P_{total\_cond} = 0,0416 mbar . \quad (140)$$

### c.9. Selección de equipos para la adecuada producción del biogás

#### - Selección de agitadores

Como regla general, la potencia del motor del equipo se debe considerar entre 5 - 8 [W/m<sup>2</sup>] por superficie superior de reactor. (Hernán Quiroz Marchant, 2017) Se tiene en la Tabla 27 (véase la página 124) las dimensiones del rectángulo inferior del biodigestor, lo cual se calculará el área de la superficie.

$$A_{superficie\_biodigestor} = 10,94 \times 4,38 \text{ m}^2 .$$

Por lo tanto, la potencia del motor de agitador requerida, considerando un valor de 8 W/m<sup>2</sup>.

$$P_{agitador} = 10,94 \times 4,38 \text{ m}^2 * \frac{8 \text{ W}}{1 \text{ m}^2} ,$$

$$P_{agitador} = 383,4 \text{ W} . \quad (141)$$

Trasladando el valor de la potencia de la ecuación (141) a HP:

$$P_{agitador} = 0,3834 \times \frac{1}{0,746} \text{ HP} .$$

$$P_{agitador} = 0,52 \text{ HP}$$

Para la presente investigación se seleccionaron 2 motores de 0,75 HP cada uno, los cuales serán ubicados en los extremos más largos de la laguna del biodigestor, uno enfrente del otro, de manera simétrica con la finalidad de poder obtener mayor flujo de movimiento en los sustratos.

- **Selección del filtro de sulfuro de hidrógeno**

El método de filtrado usado en la presente investigación es la del tipo absorbente y para ello se requiere de virutas de hierro.

Para determinar el volumen de virutas de hierro se partió de la cantidad de producción de biogás y concentración de sulfuro de hidrógeno.

Considerando que se producen 186,21 m<sup>3</sup>/día de biogás, reemplazando los valores en la ecuación (24), según Huertas Parrales (2019), se tendrá:

$$M_{Fe_2O_3} = 186,21 * \frac{0,3}{100} * 1,42 * \frac{100}{56} * 1.20 ,$$
$$M_{Fe_2O_3} = 1,7 \frac{kg}{día} . \quad (142)$$

Luego, para 30 días de autonomía del filtro, se deberá de multiplicar por esta cantidad de días:

$$M_{Fe_2O_3}(30 \text{ días}) = 1,7 * 30 ,$$
$$M_{Fe_2O_3}(30 \text{ días}) = 51 \text{ kg} . \quad (143)$$

Asimismo, se seleccionó el filtro de hidrógeno, de acuerdo a los modelos del fabricante Aqualimpia engineering, los cuales se muestran en la Tabla 31 (véase la página 157):

**Tabla 31:** Selección filtro sulfuro de hidrogeno

Modelo	Tipo	Caudal mínimo	Caudal máximo
		m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h
AQL-100	HDPE-Grado I	20	100
AQL-200	HDPE-Grado I	100	200
AQL-100	HDPE-Grado II	20	100
AQL-200	HDPE-Grado II	100	200
<b>AQL-100</b>	<b>ACERO ST316</b>	<b>20</b>	<b>100</b>
AQL-200	ACERO ST316	100	200
AQL-300	ACERO ST316	300	1200

Fuente: Aqualimpia engineering

De la Tabla 31, se seleccionó el filtro de ácido sulfúrico modelo AQL-100, acero inoxidable ST 316 para la purificación del biogás, ya que presenta mayor rigidez respecto al HDPE y se encuentra en el rango de nuestra generación del biogás al día de 186,21 m<sup>3</sup>/d, la cual está comprendida dentro del caudal mínimo y máximo.



Figura 49. Modelos de filtro de ácido sulfúrico.

Fuente: Aqualimpia engineering

- **Selección del quemador**

- Para la presente investigación se seleccionó un quemador de tipo abierto, ya que se utilizan para bajos caudales y son más económicos.
- Para realizar el dimensionamiento del quemador se necesita conocer cuánto de biogás se produce por 8 horas de funcionamiento, por lo tanto, pasando ( $\dot{Q}_{biogás}$ ) de la ecuación (60) a la producción de biogás por horas:

$$\text{Prod. de biogás} = 23,28 \text{ Nm}^3/\text{h} . \quad (144)$$

Ingresando con este dato a la

Tabla **32**, para seleccionar el quemador correspondiente:

**Tabla 32:** Selección del quemador para el biogás

Modelo	Tubería de gas	Altura	Caudal mínimo	Caudal máximo
	ØDN	mm	Nm <sup>3</sup> /h	Nm <sup>3</sup> /h
<b>FAII 50 MP</b>	<b>50</b>	<b>3850</b>	<b>20</b>	<b>80</b>
FAII 100 MP	65	4100	80	150
FAII 200 MP	80	4340	150	250
FAII 300 MP	100	5050	250	350
FAII 400 MP	125	5340	350	430
FAII 500 MP	150	5840	430	550
FAII 750 MP	200	7000	550	850
FAII 1000 MP	250	10000	850	1100

Fuente: Hernán Quiroz Marchant.

De la

Tabla **32**, se seleccionó el quemador modelo FAII 50 MP, porque la generación del biogás por hora es 23,27 Nm<sup>3</sup>/h, la cual está comprendida dentro del caudal mínimo y máximo.



Figura 50. Caso de quemador abierto instalado.  
Fuente: empresa Aqualimpia

- **Selección condensador de vapor de agua.**

Mediante la ecuación (145), se determinó la cantidad de condensado de vapor de agua.

$$C_{agua} = (C_{T,max} - C_{T,min}) * Q_{biogás} , \quad (145)$$

donde:

$C_{agua}$ : Condensado de agua, (l/h).

$C_{T,max}$ : Condensado de agua a temperatura máxima, ( $g/Nm^3$ ).

$C_{T,min}$ : Condensado de agua a temperatura mínima, ( $g/Nm^3$ ).

En la Tabla 25 (véase la página 111), se muestra la temperatura máxima en el 2017, 28,28 °C, en el 2018, 28,64 °C y en el 2019, 32 °C; y la temperatura mínima en el 2017, 12,75 °C, en el 2018, 11,75 °C y en el 2019, 13 °C.

De esta manera la temperatura máxima promedio durante los años 2017, 2018, 2019, es:

$$T_{max} = \frac{28,28\text{ °C}+28,64\text{ °C}+32\text{ °C}}{3} ,$$

$$T_{max} = 29,64\text{ °C} . \quad (146)$$

Y la temperatura mínima promedio durante los años 2017, 2018, 2019, es:

$$T_{min} = \frac{12,75\text{ °C}+11,75\text{ °C}+13\text{ °C}}{3} ,$$

$$T_{min} = 12,5\text{ °C} . \quad (147)$$

La cantidad de condensado para cada temperatura se determina con la Figura 51 (véase la página 161), donde el eje vertical representa el condensado de agua en gramos por metro cubico normales de biogás y el eje horizontal, la temperatura en grados Celsius.

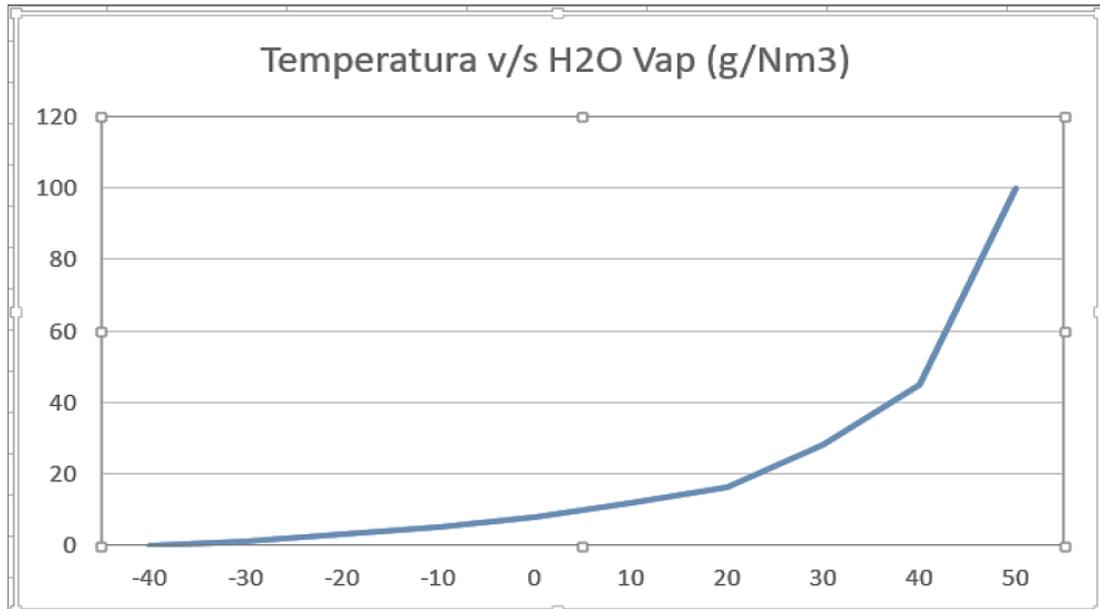


Figura 51. Vapor de agua vs Temperatura

Fuente: Tomado de libro, Hernán Quiroz Marchant.

De la Figura 51, se obtiene la cantidad de condensado de agua que presenta el biogás generado es:

$$C_{29,6^{\circ}\text{C}} = 25 \text{ g/Nm}^3, \quad (148)$$

$$C_{12,5^{\circ}\text{C}} = 16 \text{ g/Nm}^3, \quad (149)$$

Remplazando las ecuaciones (148), (149), (60) en la ecuación (145), se obtiene.

$$C_{\text{agua}} = (25 \text{ g/Nm}^3 - 16 \text{ g/Nm}^3) * 186,21 \left( \frac{\text{Nm}^3}{\text{dia}} \right),$$

$$C_{\text{agua}} = 1675,89 \text{ (g/dia)}, \quad (150)$$

Considerando la densidad del agua 1000 (g/l).

$$C_{agua} = 1,7 \text{ (l/día) ,} \quad (151)$$

Se determinó que la cantidad de agua que se condensa del biogás al día es de 1,7 litros.

Asimismo, para seleccionar el condensador de agua, se tomó en consideración la ecuación (60) para ingresar a la Tabla 33 (véase la página 162) de la empresa Aqualimpia engineering:

**Tabla 33:** Selección del modelo de condensador de agua del biogás.

Modelo	Diámetro	Altura	Caudal	Conexión de gas
	A en mm	B en mm	Nm <sup>3</sup> /h	DN
CP01	300	800	< 200	80
CP02	480	1000	200-400	125
CP03	640	1200	400-750	200
CP04	955	1400	750-1200	250

Fuente: Empresa Aqualimpia engineering.

Donde A, es el diámetro del condensador y B es la altura del mismo.

En la Figura 52 (véase la página 163) se aprecia el condensador con su respectiva leyenda, para mayores detalles la hoja de datos se encuentra en el Anexo I.



*Figura 52.* Condensador para biogás.  
Fuente: Empresa PROGECO.

En la Tabla 33 (véase la página 162), la fila resaltada en amarillo, indica el modelo del condensador seleccionado, el cual es el CP01.

#### - **Tren de calibración**

El biogás generado se aprovechará en el área del camal, maternidad y recría, por el cual se cuenta con un motor de GLP, para poder aprovechar el biogás se tendrá que adquirir un generador de biogás, lo cual necesitara cumplir ciertas condiciones de caudal regulado, calidad de metano, presión de servicio, seguridad y control, son necesarios que se cumplan para que el generador de biogás funcione óptimamente, Por este motivo es necesario instalar un tren de calibración, para poder controlar la presión de servicio, caudal requerido, concentración de metano, encendido y apagado del soplador, cierre automático de paso del biogás, corta llamas para dejar de

quemar en la antorcha. En la Figura 53 se representa un ejemplo de un tren de calibración instalado con el soplador para biogás.



Figura 53. Tren de calibración instalado con el soplador para biogás.  
Fuente: Empresa Aquialimpia engineering.

En la Figura 54 se muestra un diagrama ejemplar de los componentes del tren de calibración

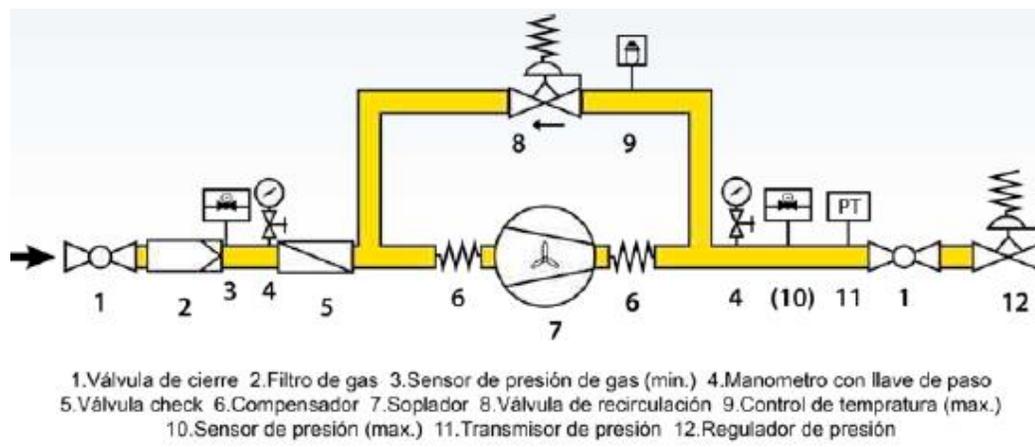


Figura 54. Diagrama de los componentes para un tren de calibración  
Fuente: Empresa Aquialimpia engineering.

### Soplador para línea de biogás

El soplador impulsará al biogás desde el biodigestor tipo laguna, hacia el gasómetro, lo cual deberá comprimir al biogás a una presión, que facilite el flujo del caudal, para ello tendrá que superar la pérdida de carga producidas en la línea de tubería del biogás y de los equipos instalados en ello.

La pérdida de presión máxima en el filtro de remoción es 5 mbar, (Aqualimpia, s.f.).

$$P_{total} = P_{condensador} + P_{filtro} + P_{tuberia}, \quad (152)$$

Remplazando las ecuaciones (140), y las perdidas en la línea de la tubería de biogás de la Tabla 30 (véase la página 152) y remplazando en la ecuación (152).

$$\Delta P_{total} = 0,0416mbar + 5 mbar + 43,62 mbar$$

$$\Delta P_{total} = 48,67 mbar . \quad (153)$$

De la ecuación (144) el caudal del biogás.

$$Q_{biogas} = 23,28 \frac{m^3}{h}$$

En la Figura 55 (véase la página 166) son representadas las curvas de desempeño de sopladores de tipo canal lateral para biogás:

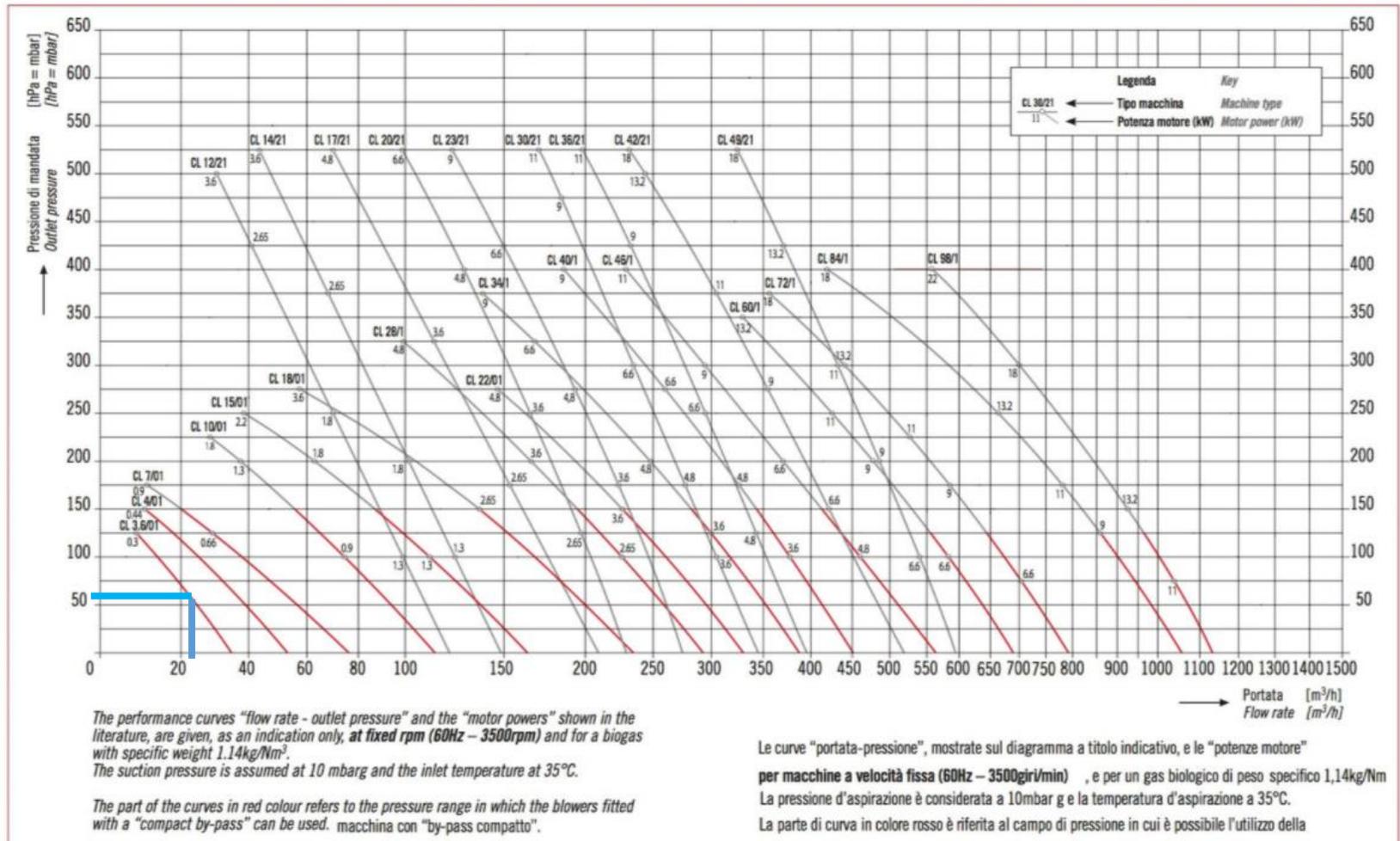


Figura 55: Curvas de desempeño de los sopladores de canal lateral de biogás.

Fuente: Empresa Aqualimpia engineering.

De la Figura 55 (véase la página 166), se selecciona el modelo de soplador CL3,6 / 01, lo cual cumplen con las características requeridas. En la Figura 56 se muestra un soplador para biogás de canal lateral.



Figura 56: Soplador para biogás de canal lateral.  
Fuente: Empresa Mapro internacional.

#### c.10. Dimensionamiento para el almacenamiento de biogás o gasómetro

Para calcular el volumen del gasómetro de doble membrana, se usará la ecuación (22), y, considerando una fracción de tiempo diario de consumo de biogás ( $T_c$ ) de 18 horas, la ecuación (22), viene a ser:

$$\text{Volumen del gasómetro} = 186,21 * (1 - 18/24) * 0,24$$

$$\text{Volumen del gasómetro} = 11,173 \text{ m}^3.$$

Considerando un FS de 20%:

$$V_{\text{gasómetro\_diseño}} = 11,173 \times 1.2 = 13,4 \text{ m}^3. \quad (154)$$

### c.11. Dimensionamiento bomba extracción de lodos

Para cálculos de esta investigación se utilizó el valor promedio de la densidad del lodo, según Peralta (2005).

$$\rho_{med. lodo} = \frac{1060 \frac{kg}{m^3} + 1300 \frac{kg}{m^3}}{2}$$
$$\rho_{med. lodo} = 1180 \frac{kg}{m^3} . \quad (155)$$

La cantidad de lodos generados al día, se determinó en la ecuación (100), la masa de lodo es: 195,7 kg.

Para nuestra investigación se considera que el lodo acumulado por cada 4 días es el que será bombeado, por lo que la masa a bombear ( $M_{bombeo\_lodo}$ ) es:

$$M_{bombeo\_lodo} = 195,7 \frac{kg}{d} * 4 d ,$$
$$M_{bombeo\_lodo} = 782,8 kg . \quad (156)$$

Volumen de lodos a bombear ( $V_{bombeo\_lodo}$ ):

Dividiendo la ecuación (156) y (155) se obtiene:

$$V_{bombeo\_lodo} = \frac{782,8 kg}{1180 \frac{kg}{m^3}}$$
$$V_{bombeo\_lodo} = 0,663 m^3 , \quad (157)$$

Según Moncayo (2014), respecto a la tubería para la extracción de lodos, la cual conducirá el caudal hacia el lecho de secado de lodos, se recomienda instalar tubería de PVC, de diámetro nominal, comprendida entre Ø 75 mm a Ø 100 mm.

- **Cálculo de la altura manométrica:**

Esquema de bombeo:

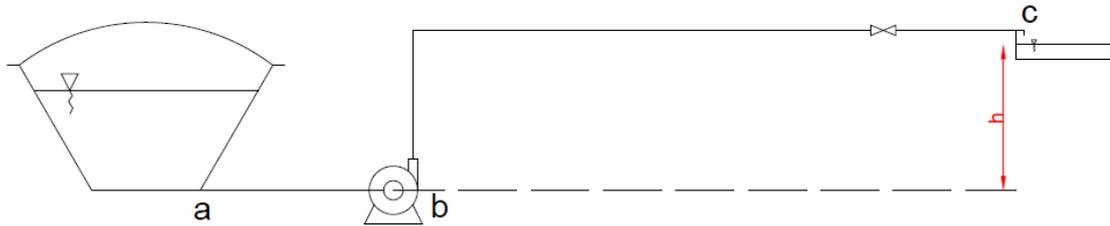


Figura 57. Esquema de bombeo para el lodo.

De la Figura 57 se consideran los puntos a y c con una diferencia de altura de 3,5 m, con una longitud en la succión de 2 m y Ø 110 mm nominal, longitud en la descarga de 12 m y Ø 75 mm, para realizar el balance de energía, entre los puntos a y c.

De la ecuación general de energía entre los puntos a, c se obtiene:

$$h_B = \frac{P_c}{\rho * g} - \frac{P_n}{\rho * g} + \frac{v_c^2}{2g} - \frac{v_n^2}{2g} + z_c - z_a + \sum h_{total}, \quad (158)$$

Donde:

$P_c$  : Presión en c, es la presión atmosférica.

$P_n$  : Presión en n, es la presión atmosférica más la manométrica (presión dentro del biodigestor: 3 mbar, 300 Pa)

$v_c$  : Velocidad en c.

$v_a$  : Velocidad en a.

$\sum h_{total}$ : Suma de perdidas primarias y secundarias.

La determinación del peso específico de lodo, se determinará con la ecuación (159)

$$\gamma = \rho_{lodo} * \frac{1 * m^3}{1000 * dm^3} \cdot \quad (159)$$

$$\gamma = 1180 \text{ kg} * \frac{1 * m^3}{1000 * dm^3} ,$$

$$\gamma = 1,18 * \frac{kg}{dm^3} . \quad (160)$$

Para la presente investigación tomaremos una velocidad promedio de 1,5 m/s en la descarga.

El cálculo del flujo de caudal en la tubería de lodos, será acorde a la ecuación (161).

$$Q = V * A . \quad (161)$$

donde:

$Q$ : Caudal, (m<sup>3</sup>/s).

$V$ : Velocidad, (m/s).

$A$ : Área interna de la tubería (m<sup>2</sup>).

Reemplazando la velocidad y área interior de la tubería, en la ecuación (161),

$$Q = 1,5 * \frac{\pi * 0,0705^2}{4} \text{ m}^3/\text{s} ,$$

$$Q = 5,855 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} ,$$

$$Q = 5,855 \text{ l/s} . \quad (162)$$

Para el cálculo de la velocidad en la succión, se requiere del caudal y el diámetro interior de la tubería, de acuerdo a la ecuación (163):

$$v = \frac{4 * Q}{\pi * \phi^2} . \quad (163)$$

$$v = \frac{4 * 5,855 \times 10^{-3}}{\pi * (0,1034)^2} ,$$

$$v = 0,697 \text{ m/s} . \quad (164)$$

El valor de la viscosidad dinámica para el lodo es de 0,0046 (kg.m/s), según Cruz (2015) .

Cálculo de las pérdidas primarias y secundarias en la succión y descarga:

**Tabla 34.** Pérdidas de cargas primarias y secundarias en la tubería de lodos

Tramo	L (m)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Ø Nominal (mm), catalogo	Ø Nominal int. (m), catalogo	Número de Reynolds	Factor de fricción (f)	Pérdida primaria Hf (m)	Long. Equi. Ks (m)	Pérdida secundaria hs (m)	Pérdidas totales h
a-b	2	0,005855	0,697	110,0	103,4	18487470	0,00906	0,0000043	0,42	0,01	0,01
b-c	12	0,005855	1,5	75,0	70,5	27127174	0,00939	0,0001833	45,75	5,25	5,25

Remplazando valores de la ecuación (158), para determinar la altura manométrica ganado por el fluido al pasar por la bomba.

$$h_B = \frac{300}{1180*9,81} + \frac{1,5^2 - 0,697^2}{2*9,81} + 3,5 \text{ m} + 5,26 \text{ m},$$

$$h_B = 8,87 \text{ m} . \quad (165)$$

Remplazando la velocidad 1,5 m/s y la presión en el interior del biodigestor 3mbar y las ecuaciones (160), (164), (165), en la ecuación (23) se determinó la potencia de la bomba con una eficiencia del 70%.

$$P_B = \frac{1,25*1,18*5,855*8,87}{75*0,70} ,$$

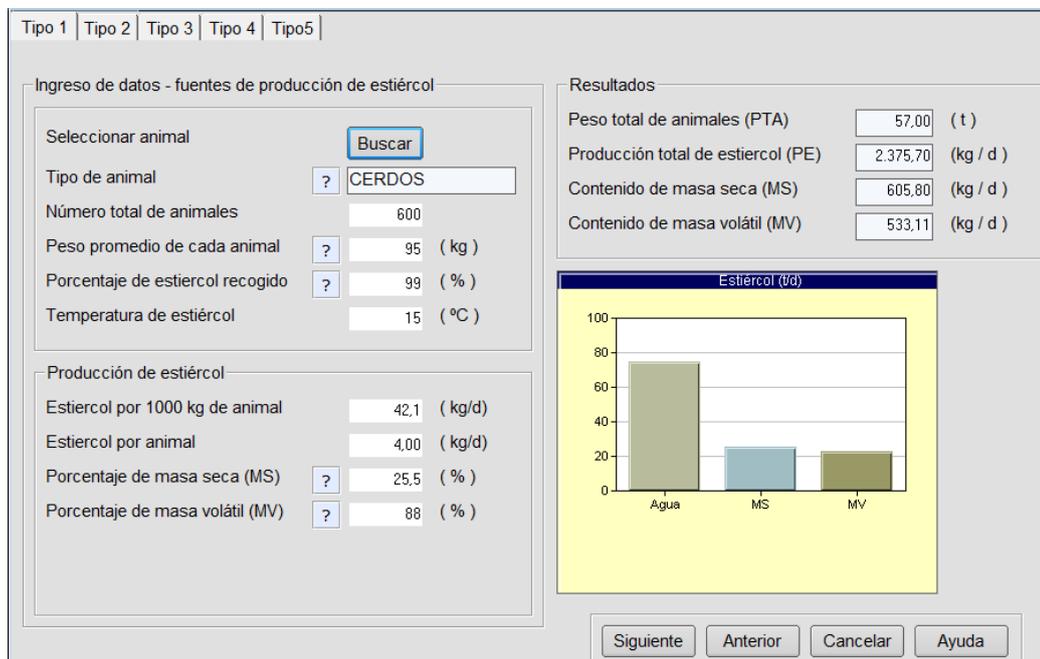
$$P_B = 1,45 \text{ CV} ,$$

$$P_B = 1,07 \text{ KW} . \quad (166)$$

Por lo tanto, se seleccionó un motor para lodos de caudal 5,9 l/s y potencia 1,07 KW o 1,5 hp.

**a) Validar el diseño de la planta de producción de biogás mediante el programa Biodigestor-PRO versión 3.0.**

En la Figura 58, Figura 59, Figura 60, Figura 61, Figura 62, Figura 63 y Figura 64 (entre las páginas 171-174) se muestra el procedimiento del modelado con el programa Biodigestor-PRO versión 3.0:



*Figura 58. Ingreso de datos por tipo de animal y resultado obtenidos.*  
Fuente: Captura del programa biodigestor Pro. Versión 3.0

Geometría - diseño e implantación de biodigestores

Implantación de biodigestores

Sobre tierra

Acero

Hormigón

Bajo tierra

Membrana

Hormigón

Asignar el volumen máximo de cada biodigestor

Volúmen total requerido (cálculo) ? 211 (m3)

Número de biodigestores 1

Volúmen máximo de cada biodigestor ? 211 (m3)

Profundidad de cada biodigestor ? 2.5 (m)

Borde libre ? 0.50 (m)

Altura total 3.00 (m)

Tanque de alimentación y mezcla

Volúmen recomendado ? 6.06 (m3)

Profundidad máxima recomendada ? 1.20 (m)

Número de tanques

Un tanque para cada biodigestor

Un tanque para todos los biodigestores

Forma del tanque

Circular

Rectangular

Relación largo / ancho 2

Forma del biodigestor

Circular

Rectangular

Relación largo ancho 1: 2

Inclinación de talúd 1:n 1: 0.5 n

Tanque de descarga

Volúmen recomendado ? 18.18 (m3)

Profundidad máxima 1.20 (m)

Relación largo ancho ? 2

Siguiente Anterior Cancelar Ayuda

Figura 59. Ingreso de datos para la selección del tipo de biodigestor.  
Fuente: Captura del programa biodigestor Pro. Versión 3.0

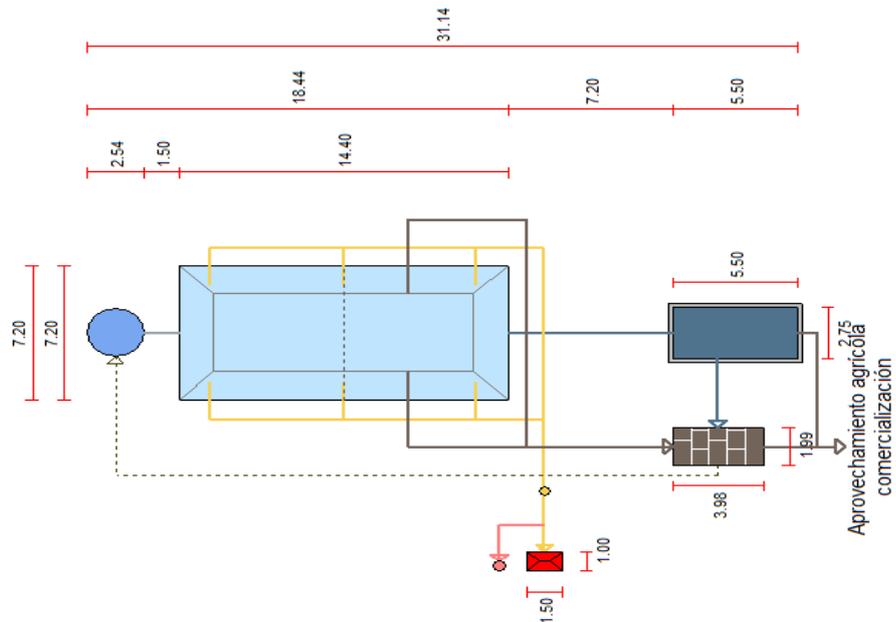


Figura 60. Resultado de la propuesta de biodigestor de implementación y componentes auxiliares.

Fuente: Captura del programa biodigestor Pro. Versión 3.0

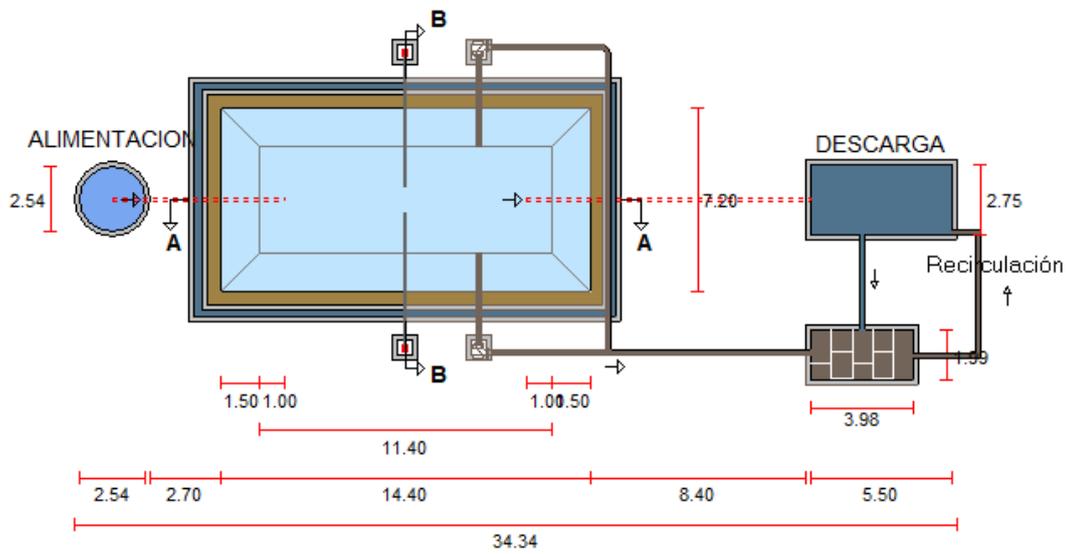


Figura 61. Resultado del esquema de alimentación y descarga.  
Fuente: Captura del programa biodigestor Pro. Versión 3.0

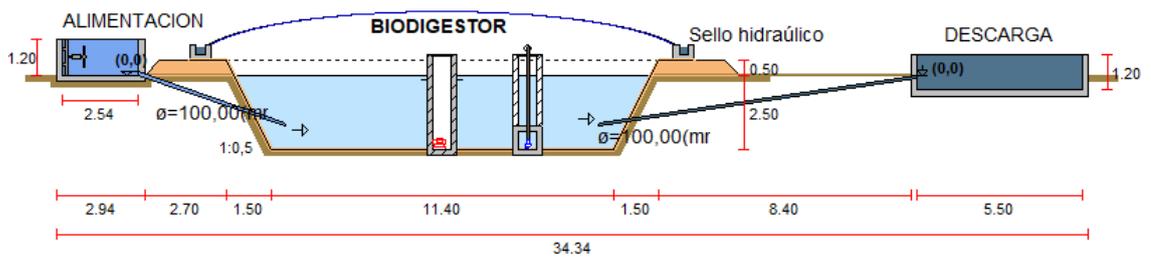


Figura 62. Tubería de alimentación y descarga.  
Fuente: Captura del programa biodigestor Pro. Versión 3.0

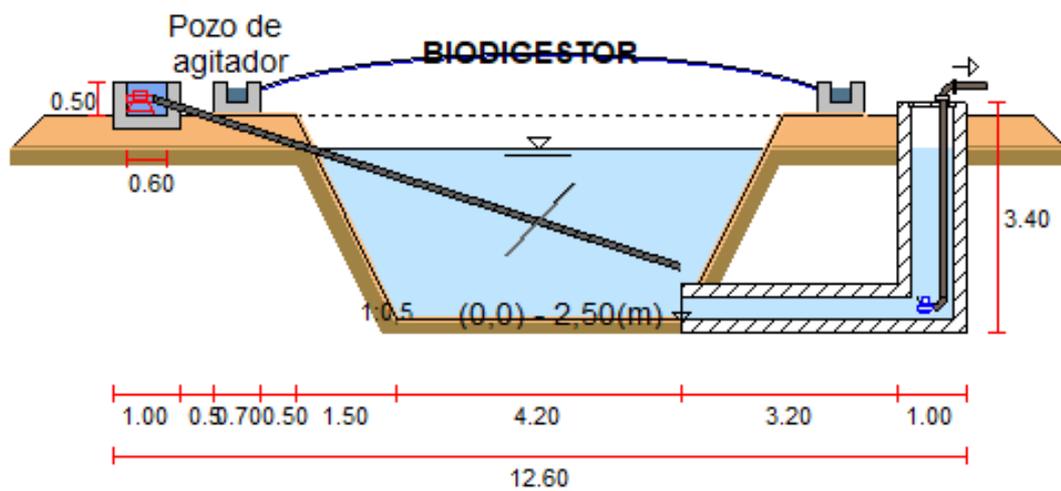


Figura 63. Sistema de agitación.  
Fuente: Captura del programa biodigestor Pro. Versión 3.0

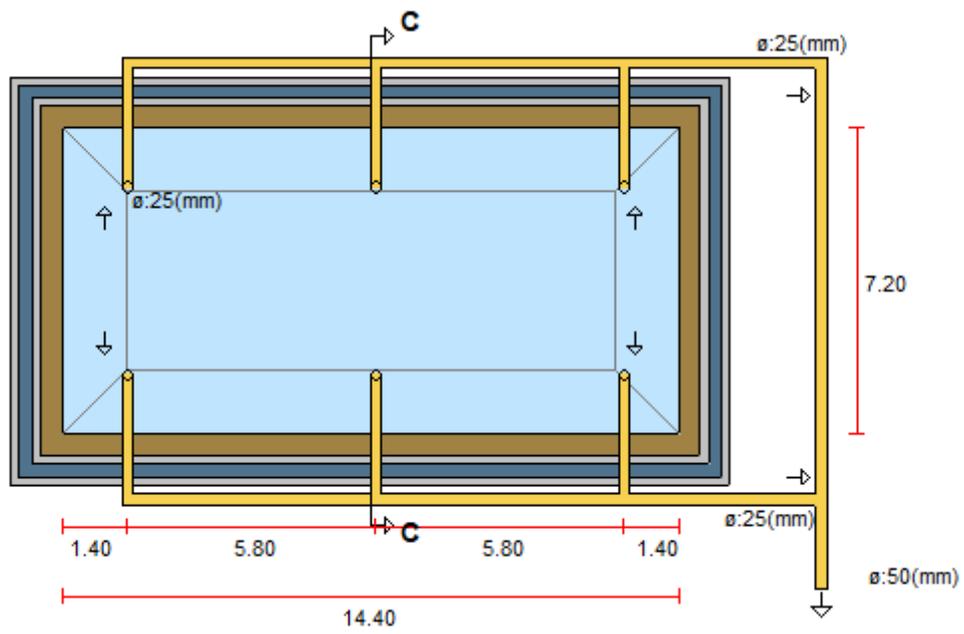


Figura 64. Esquema de tubería para la captación del biogás  
 Fuente: Captura del programa biodigestor Pro. Versión 3.0

## V. RESULTADOS

### 5.1 Determinación de las características físicas y químicas de los purines de cerdo.

En línea con los procedimientos en el literal a) del numeral 4.6, en la Tabla 35 se muestran los resultados del Análisis termogravimétrico-TGA (Proximal).

**Tabla 35.** Análisis termogravimétrico-TGA (Proximal).

N. laboratorio	Código de campo	Base húmeda			
		Contenido de humedad (%)	Masa volátil (%)	Cenizas (%)	Carbono fijo (%)
UBE-(06/2021)-0005	Purin-01	74,50	15,93	3,06	6,50

Fuente: Resultado del análisis realizado por el laboratorio de energías renovables.

En la Tabla 35, se muestra que el contenido de humedad es el 74,50 %, la masa volátil representa el 15,93 %, las cenizas 3,06 % y el carbono fijo representa el 6,50 %; todo ello respecto a una muestra en base húmeda (sin pretratamiento previo), el análisis se llevó a cabo bajo la norma ASTM D7582.

En la Tabla 36 se muestra los resultados del análisis del poder calórico realizado a la muestra de los purines de cerdo, los resultados se expresaron en base húmeda (muestra tal como se llevó al laboratorio):

**Tabla 36.** Análisis del poder Calórico.

N. laboratorio	Código de campo	Base seca	Base húmeda
		PCS (Kcal/kg)	PCI (Kcal/kg)
UBE-(06/2021)-0005	Purin-01	3844,86	980,43

Fuente: Resultado del análisis realizado por el laboratorio de energías renovables.

En la Tabla 36, se muestra que, el purín analizado cuenta con un Poder Calórico Superior de 3844,86 Kcal/kg y un Poder Calórico Inferior de 980,43 Kcal/kg. Todo el procedimiento se llevó a cabo según la normativa ASTM D5865-13.

En la Tabla 37 se muestra los resultados del análisis elemental realizado para determinar el contenido porcentual de carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N), oxígeno (O) y azufre (S) de los purines de cerdo.

**Tabla 37.** *Análisis elemental (C, H, N, O, S).*

N. laboratorio	Código de campo	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	O (%)
UBE-(06/2021)-0005	Purin-01	43,89	6,50	2,88	0,25	35,16

Fuente: Resultado del análisis realizado por el laboratorio de energías renovables.

En la Tabla 37, se muestra que el contenido porcentual de carbono (C) es 43,89%, oxígeno (O) es 35,16%, hidrógeno (H) es 6,50%, nitrógeno (N) es 2,88%, y azufre (S) es 0,25% del purín analizado. El procedimiento se llevó según la norma ASTM D5373, para carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno y conforme a la norma ASTM D439 para el azufre.

En la Tabla 38 se muestra los resultados del análisis de parámetros fisicoquímicos realizado para determinar el nivel de acidez (pH) de los purines de cerdo.

**Tabla 38.** *Análisis de parámetros fisicoquímicos.*

N. laboratorio	Código de campo	pH	pH	pH
UBE-(06/2021)-0005	Purin-01	Día 03 6,21 (17,9°C)	Día 07 6,28 (17,9°C)	Día 12 6,31 (17,8°C)

Fuente: Resultado del análisis realizado por el laboratorio de energías renovables.

En la Tabla 38 se muestra que el pH del purín de cerdo a los 03 días fue de 6.21, a una temperatura de 17.9°C, a los 07 días el pH fue de 6,28, a una temperatura de 17.9°C y a los 12 días fue de 6,31, a una temperatura de 17.8°C.

## 5.2 Determinación del actual consumo de energía térmica y el volumen de biogás equivalente

### 5.2.1 Consumo de energía térmica

De acuerdo al análisis y procesamiento de datos explicados en el literal b) del numeral 4.6, en la Tabla 39 se muestra la energía térmica que la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC consume para cada una de las áreas reportadas en el cuestionario y para cada estación:

**Tabla 39.** Consumo de energía térmica por áreas y por estaciones en la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral.

Estación	Energía consumida por áreas (kWh/día)			
	Maternidad	Recría	Camal	Total
Cálidas	184,27	644,67	494,87	1323,81
Frías	247,44	907,26	494,87	1649,57

De la Tabla 39 se concluye que la demanda de energía térmica total para las estaciones cálidas es de 1324 kWh/día y de 1650 kWh/día para las estaciones frías.

### 5.2.2 Volumen de biogás

El volumen de biogás equivalente necesario para esta energía térmica requerida, la cual es determinada en base a la ecuación (34), se muestra en la Tabla 40:

**Tabla 40.** Volumen de biogás requerido ( $m^3/día$ ) por cada estación

Estación	Maternidad	Recría	Camal	Total
	Volumen ( $m^3/día$ )			
Cálidas	29,48	103,15	79,18	211,81
Frías	39,59	145,16	79,18	263,93

De la Tabla 40 se concluye que la cantidad total de biogás equivalente que deberán de generar los purines para cubrir totalmente el actual consumo térmico de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC deberá ser de al menos 211,81  $m^3$  por día para las estaciones cálidas (verano y otoño) y de 263,93  $m^3$  por día para las estaciones frías (invierno y primavera).

Ahora bien, al determinar que el biodigestor diseñado producirá 186,21 m<sup>3</sup>/día de biogás; para las estaciones cálidas y frías se contará con un defecto de biogás, la cual, al multiplicarse por su poder calorífico conforme a las ecuaciones (30) y (31), se obtiene la diferencia de energía térmica. El requerimiento, la producción y la diferencia de biogás y energía equivalente son mostrados en la Tabla 41.

**Tabla 41.** *Volumen y energía de biogás requerida, producida y diferencia*

Estación	Requerido		Producido		Diferencia	
	Volumen (m <sup>3</sup> /día)	Energía (kWh/día)	Volumen (m <sup>3</sup> /día)	Energía (kWh/día)	Volumen (m <sup>3</sup> /día)	Energía (kWh/día)
<b>Cálidas</b>	211,81	1323,81	186,21	1163,81	25,6	160
<b>Frías</b>	263,93	1649,57	186,21	1163,81	77,72	485,76

Al contar con una diferencia de energía, aplicando la ecuación (167) se determinó la masa y, la cantidad de balones de GLP que se requieren por semana para cubrir esta energía térmica que sería necesaria en adición al biogás producido para cada estación, de acuerdo a las necesidades de la empresa. A continuación, la ecuación (167), despejando el número de balones por semana:

$$\text{Balones de GLP} = \frac{\text{Energía} \times 7}{45 \times 12,83} \quad (167)$$

La masa y el número de balones de 45 kg por semana calculados se encuentran en la Tabla 42, la cantidad de balones fue redondeado al entero superior más próximo:

**Tabla 42.** *Masa y balones de GLP necesarios para terminar de cubrir la demanda de energía térmica*

Estación	GLP	
	Masa (kg/día)	Balones/semana
<b>Cálidas</b>	12,38	2
<b>Frías</b>	37,75	6

### 5.3 Definición del diseño de la planta para la producción de biogás

Los parámetros calculados para dimensionar el biodigestor tipo laguna cubierta se muestran en la Tabla 43.

**Tabla 43.** *Parámetros para cálculo del volumen del biodigestor*

Calculado	Masa de purines (kg)	Masa seca (kg)	Masa Volátil (kg)
<b>Resultados</b>	2257,2	575,6	506,52

El volumen y las dimensiones del biodigestor tipo laguna cubierta seleccionado se, se muestra en la Tabla 44. Asimismo, véase en el Anexo J el plano del biodigestor tipo laguna cubierta, lámina BTL-01.

**Tabla 44.** *Dimensiones del biodigestor tipo laguna cubierta*

Calculado	Altura (m)	Base Mayor (m)		Base Menor (m)		Vol. del biodigestor (m <sup>3</sup> )
		Largo	Ancho	Largo	Ancho	

El volumen y las dimensiones calculadas para el tanque de alimentación es de forma circular y se muestra los resultados en la Tabla 45. Asimismo, véase en el Anexo J el plano del tanque de alimentación, lámina BTL-02.

**Tabla 45.** *Dimensiones calculadas para el tanque de alimentación.*

Calculado	Altura (m)	Diámetro (m)	Vol. del tanque (m <sup>3</sup> )
<b>Resultados</b>	1,19	2,61	6,35

El volumen y las dimensiones calculadas para la laguna de descarga del biol se muestra los resultados en la Tabla 46. Asimismo, véase en el Anexo J el plano de la laguna de descarga del biol.

**Tabla 46.** *Dimensiones calculadas para la laguna de descarga del biol.*

Calculado	Altura (m)	Largo (m)	Ancho (m)	Vol. (m <sup>3</sup> )
<b>Resultados</b>	1,25	5,5	2,75	18,91

El volumen y las dimensiones calculadas para el lecho de secado para lodos se muestra los resultados en la Tabla 47.

**Tabla 47.** Dimensiones calculadas del lecho de secado de lodos

Calculado	Altura (m)	Largo (m)	Ancho (m)	Vol. (m <sup>3</sup> )
Resultados	0,4	4	2	3,2

#### **Determinación del diámetro de tubería para el biogás.**

En la Figura 48 (véase la página 145) se muestra el esquema para realizar el cálculo hidráulico para el biogás, se consideró para la captación del biogás 6 tomas de Ø 25 mm, 3 en cada lateral del biodigestor, asimismo, se determinaron diámetros de 32 mm en tramos con unión de dos tomas y de 40 mm en tramos con unión de tres tomas, resultando que la troncal deberá de contar con Ø 63 mm, la cual conduce el biogás hacia el gasómetro y la antorcha o quemador.

#### **Selección de equipos:**

- Se dimensionaron dos agitadores axiales para lodos de potencia 0,75 HP cada uno, los cuales serán instalados en los laterales del biodigestor.
- Se seleccionó el filtro de sulfuro de hidrogeno modelo AQL-100, de la empresa Aqualimpia engineering, el cual será instalado en el tramo k-l, para la purificación del biogás mediante la utilización de virutas de hierro (51 kg con tiempo de recambio cada 30 días).
- Se seleccionó un quemador para biogás con un caudal 23,28 Nm<sup>3</sup>/h, modelo FAII 50 MP, de la empresa Aqualimpia engineering, el cual se ubicará en el tramo n-o.
- Se seleccionó un condensador de vapor de agua de capacidad 1,7 litros al día, modelo CP01, de la empresa Aqualimpia engineering el cual se ubicará en el tramo l-m.
- Se seleccionó un soplador modelo CL3,6/01, para el caudal de 23,28  $\frac{m^3}{h}$  para biogás, de la empresa Aqualimpia engineering, el cual será instalado en la línea de biogás, el cual se ubicará en el tramo m-n.

- Se dimensionó un gasómetro de membrana doble para un volumen de  $13,4 m^3$ .
- Se dimensionó una bomba para la extracción de lodos con una potencia de 1,5 HP.

#### **5.4 Validación del diseño de la planta de producción de biogás mediante el programa Biodigestor-PRO versión 3.0**

Para la presente investigación se diseñó un biodigestor tipo laguna cubierta, los resultados fueron validados mediante el programa Biodigestor-PRO versión 3.0, por lo que se elaboraron tablas comparativas de los resultados por medio del cálculo del porcentaje de error, asimismo estos resultados fueron llevados a gráficas para brindar una perspectiva visual de la variación absoluta. El reporte del programa no arrojó las dimensiones del lecho de secado para el lodo, por lo que no se llevó a cabo la comparación para este esté en particular. Véase el reporte del programa en el Anexo F.

**Tabla 48.** *Comparativa de parámetros de los cálculos realizados con los resultados de programa biodigestor-PRO versión 3.0*

<b>Comparación</b>	<b>Masa de purines (kg)</b>	<b>Masa seca (kg)</b>	<b>Masa Volátil (kg)</b>
Calculado	2257,2	575,6	506,52
Software	2375,7	605,8	533,11
% Error	4,99%	4,99%	4,99%

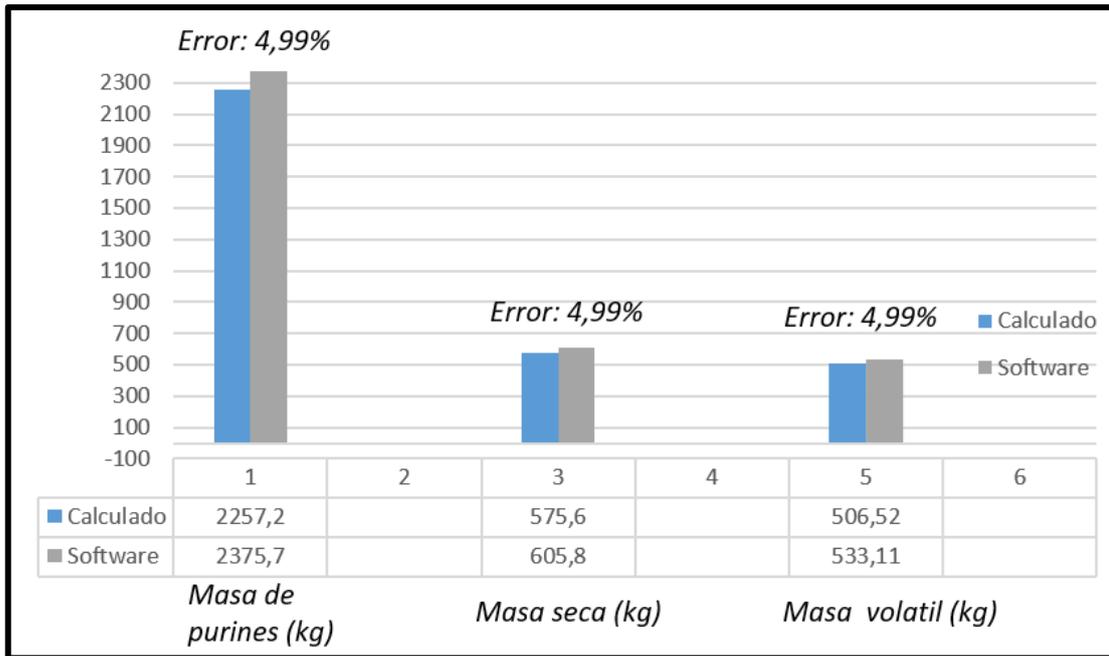


Figura 65. Comparativa de parámetros de los cálculos realizados con los resultados de programa biodigestor-PRO versión 3.0

**Tabla 49.** Comparación de resultados entre lo calculado y el programa biodigestor-PRO versión 3.0, para las dimensiones del biodigestor

Calculado	Altura (m)	Base Mayor (m)		Base Menor (m)		Vol. del biodigestor (m <sup>3</sup> )
		Largo	Ancho	Largo	Ancho	
		Calculado	2,99	14,88	7,44	
Software	3	14,4	7,2	11,4	4,2	211
% Error	0,33%	-3,33%	-3,33%	4,04%	-4,29%	-4,74%

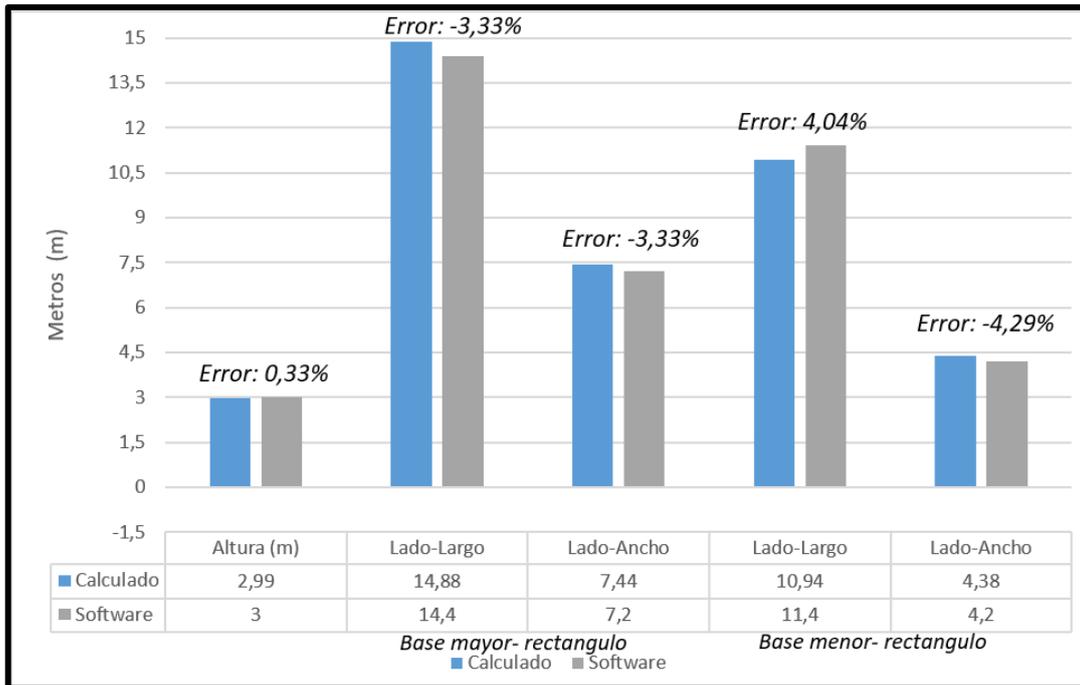


Figura 66. Comparación de resultados entre lo calculado y el programa biodigestor-PRO versión 3.0, para las dimensiones del biodigestor

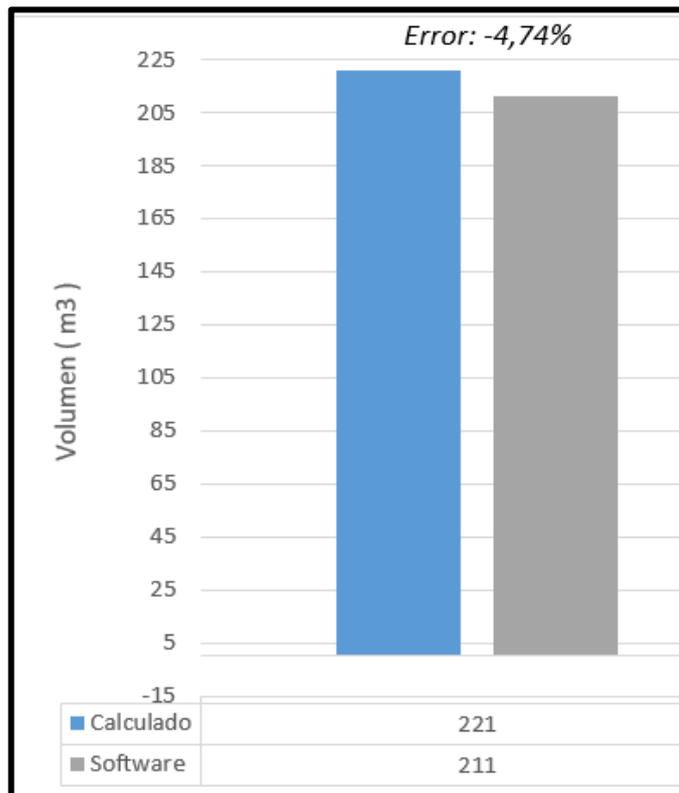
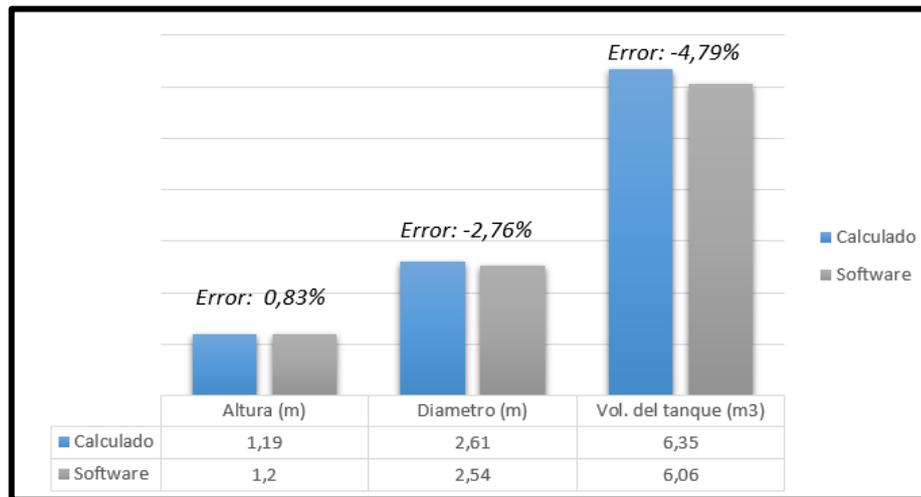


Figura 67. Diferencia de resultados entre lo calculado y el software para el volumen del biodigestor tipo laguna cubierta.

**Tabla 50.** Comparación de resultados entre lo calculado y el programa biodigestor-PRO versión 3.0 para el tanque de alimentación.

Comparación	Altura (m)	Diámetro (m)	Vol. del tanque (m <sup>3</sup> )
Calculado	1,19	2,61	6,35
Software	1,2	2,54	6,06
% Error	-0,84%	-2,75%	-4,79%



**Figura 68.** Comparación de resultados entre lo calculado y el programa biodigestor-PRO versión 3.0 para el tanque de alimentación

**Tabla 51.** Comparación de resultados entre lo calculado y el programa biodigestor-PRO versión 3.0 para la descarga del biol.

Comparación	Altura (m)	Largo (m)	Ancho (m)	Vol. (m <sup>3</sup> )
Calculado	1,25	5,5	2,75	18,91
Software	1,2	5,5	2,75	18,18
% Error	-4,17%	0,00%	0,00%	-4,02%

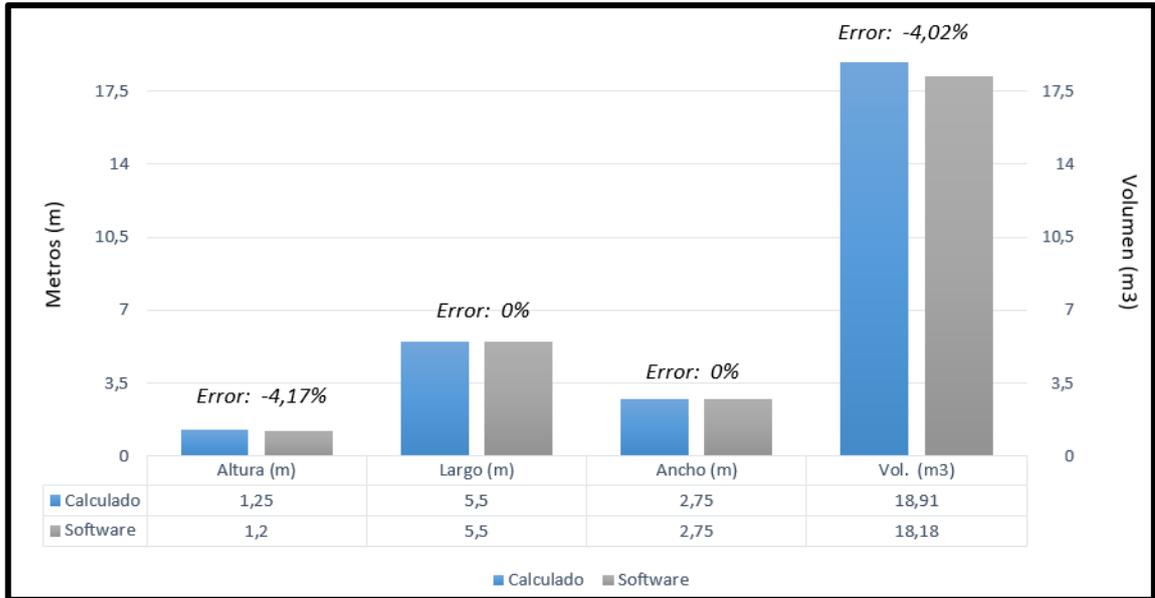


Figura 69. Comparación de resultados entre lo calculado y el programa biodigestor-PRO versión 3.0 para la descarga del biol.

**Tabla 52.** Comparación de resultados entre lo calculado y el programa biodigestor-PRO versión 3.0 para el lecho de secado de lodos.

Comparación	Altura (m)	Largo (m)	Ancho (m)	Vol. (m³)
Calculado	0,4	4	2	3,2
Software		3,98	1,99	
% Error		0,5%	0,5%	

Para las dimensiones del lecho de secado de lodos, el programa Biodigestor PRO\_3.0, no arroja resultado de la altura, por lo cual no se puede comparar la altura y el volumen del lecho de secado para lodos.

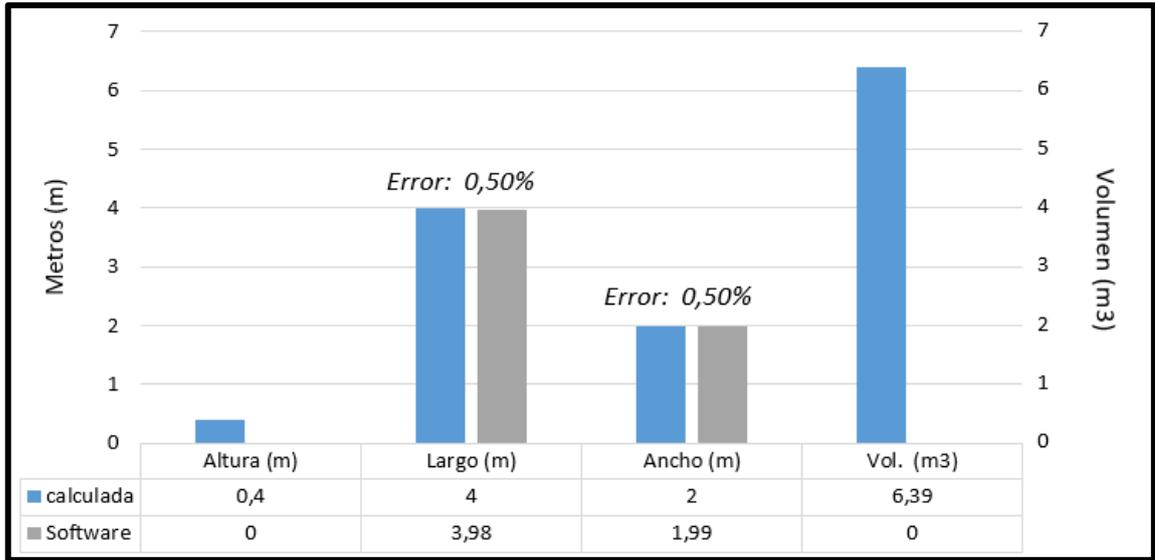


Figura 70. Comparación de resultados entre lo calculado y el programa biodigestor-PRO versión 3.0 para el lecho de secado de lodos.

## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

#### 6.1.1 Contrastación del informe del análisis físico-químico del laboratorio

Siendo la hipótesis 1: Si se determinan las características físicas y químicas de los purines de cerdo de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral, ello ayuda en el diseño de la planta de producción de biogás a partir de los purines de cerdo en esta empresa.

De los resultado del análisis elemental, análisis proximal, análisis del poder calórico y análisis del pH, los cuales se llevaron bajo la normativa ASTM D7582, ASTM D5373, ASTM D4239, en el Laboratorio de Energías Renovables de la Universidad Nacional Agraria la Molina, para realizar los análisis de 3 muestras de purín, se obtuvo el contenido de humedad del 74,50% y las cenizas de 3,06%, los cuales fueron necesarios para determinar en nuestra investigación el porcentaje de masa seca que da como resultado de 25,5% y la masa volátil del 88%, comparando dichos valores con lo indicado en la Tabla 16, notamos que se aproximan a los porcentajes según Romero Moncayo (2014). Asimismo, los resultados del pH que fueron medidos en tres días diferentes en el laboratorio mencionado, nos dieron valores de 6,21; 6,28 y 6,31, los cuales se encuentran en los límites de 6 hasta 8,3; permitidos para la generación del biogás según Reyes (2017).

Por lo tanto, las características físicas y químicas determinadas de los purines de cerdo de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral, ayudaron en el diseño de la planta de producción de biogás a partir de los purines de cerdo en esta empresa.

### **6.1.2 Contratación del consumo térmico con la cantidad de biogás generados por el purín de cerdo**

Siendo la hipótesis 2: Si se determina el actual consumo térmico y el volumen de biogás equivalente que generarán los purines, se puede cuantificar el uso directo de este energético en la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral.

En la Tabla 23 se muestra la cantidad de balones de GLP consumidos para el calentamiento de las áreas de recria y maternidad en estaciones cálidas y frías las cuales son 10 balones y 14 balones de GLP de peso 45 kg cada una respectivamente, en el área de camal se mantiene los 6 balones de GLP, tanto para estaciones cálidas y frías, haciendo un total del consumo en estaciones cálidas de 16 balones y en estaciones frías 20 balones de GLP por la empresa; en la Tabla 39, se determinó el consumo de energía térmica por áreas y estaciones para la empresa, dando un total en estaciones cálidas de 1324 kWh/d y en estaciones frías 1650 kWh/d, de igual manera se muestra en la Tabla 40 el volumen requerido de biogás por día y estación, dando así en estaciones cálidas un total de 211,81 m<sup>3</sup>/día y estaciones frías un total de 263,93 m<sup>3</sup>/día. Ahora, dado que la planta diseñada producirá 186,21 m<sup>3</sup>/día de biogás, en la Tabla 41 se muestra la diferencia de energía que necesitaría la empresa cuando ya se estaría generando el biogás para lo cual se necesitaría en estaciones cálidas 160 kWh/d y en estaciones frías 485,76 kWh/d, en la Tabla 42 se muestra la masa y balones de GLP necesarios que demandaría la empresa cuando se cubra con el biogás parte de la necesidad de la empresa para las estaciones cálidas y frías, el cual serán 2 y 6 balones respectivamente; demostrando que en las estaciones cálidas la producción del biogás es equivalente al 88% de la energía requerida, en las estaciones frías el biogás producido es equivalente al 70,6 % de la energía requerida, en la actualidad por la empresa.

Es así que, determinando el actual consumo térmico y el volumen de biogás producido equivalente se cuantificó el uso de biogás necesario para cubrir la demanda del consumo de energía térmica de la empresa. Sin embargo, acorde

a la cantidad que el biodigestor, se logrará cubrir hasta un valor de 1163,81 kWh/día, el cual representa en promedio un 79% del consumo de energía térmica de la empresa, evidenciado la oportunidad de aprovechar los purines de cerdo, corroborando lo planteado en la hipótesis específica 2.

### **6.1.3 Contrastación del tipo de biodigestor seleccionado para la producción de biogás**

Siendo la hipótesis 3: Si se define el diseño de la planta para la producción de biogás de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral, se logra el ahorro de gas licuado de petróleo que actualmente consume.

El biodigestor tipo laguna cubierta calculado en nuestra investigación es de 221  $m^3$ , el cual comparado con la Tabla 12, según las especificaciones técnicas de la construcción de biodigestores tipo laguna cubierta utilizados por la empresa CIDELSA, para una cantidad de cerdos comprendida entre 301 a 500 el volumen del biodigestor es de 150  $m^3$  y entre 501 a 800 el volumen del biodigestor determinado es 250  $m^3$ , por lo que se puede concluir que, para la cantidad de 600 cerdos que estamos utilizando en nuestra investigación, el volumen calculado del biodigestor se encuentra dentro del rango de volúmenes de la Tabla 12, indicado por la empresa CIDELSA.

Asimismo, se demuestra que, habiendo diseñado la planta para la producción de biogás de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral, la cual producirá 1163,81 kWh/día, se logra un ahorro de 14 balones de GLP por semana.

De otro lado, es pertinente resaltar que, partiendo de la ecuación (54), con el volumen del biodigestor determinado con el TRH ( $V'_{util}$ ), se deduce un  $COV' = 2,78$ ; el cual se encuentra dentro del rango establecido por Varnero Moreno (2011), quien indica que, por lo general, la COV debe llegar a valores entre 2 – 3 kgMV/ $m^3$  de biodigestor y por día.

#### **6.1.4 Contratación del cálculo a base de programa BIODigestor –PRO versión 3.0**

Siendo la hipótesis 4: El uso del programa BIODigestor – PRO versión 3.0 ayuda a corroborar los cálculos realizados para el diseño de la planta de producción de biogás en la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral.

De las Tablas 48-52 (véase las páginas 183-187), se demuestra que el diseño propuesto del biodigestor tipo laguna cubierta es correcto, puesto que el programa Biodigestor – PRO versión 3.0 utilizado arrojó un porcentaje de error absoluto inferior al 5%.

Por lo tanto, el uso del programa BIODigestor – PRO versión 3.0 ayudó a corroborar los cálculos realizados para el diseño de la planta de producción de biogás en la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral.

#### **6.2 Contratación de los resultados con otros estudios similares**

- Flores (2013) en su tesis titulada “Producción y utilización de biogás a partir de purines, como una alternativa de energía renovable en el C.P. Chen Chen-Moquegua”, Obtiene como resultado de sus análisis físico químicos el valor de Ph en promedio de 7,4, cenizas de 2,25 %, Humedad de 74 %, Nitrógeno 1,7 %, por lo que es recomendable la producción de biogás a base del purín de cerdo que contengan estas características.

La presente investigación armoniza con lo establecido por Flores (2013), debido a que los resultados del análisis físico químico de los purines de cerdo, consulte la Tabla 35, **Tabla 36**Tabla 37 y Tabla 38 (entre las páginas 178 y 179), indican que se cumple con los requisitos del sustrato para una óptima producción de biogás a base de purines de cerdo.

- Estella (2016) en su tesis titulada “Estudio de la producción energética a partir del aprovechamiento del biogás en una granja de ganado bovino”, la

energía generada dota a la granja de una independencia energética plena, la demanda térmica de los digestores de 3264 kWh/día se satisface mediante el sistema de recuperador de calor, además de la demanda de 1539 kWh/día eléctricos. Todo ello cubierto con la obtención del biogás al procesar 61 920 kg de purines de ganado bovino por día.

La presente investigación armoniza con Estella (2016) por los componentes considerados en la planta, tales como tanque de alimentación cilíndrico, reactor, filtro de sulfuro de hidrógeno y remoción de condensado entre otros, con el objeto de usar el biogás para cubrir la demanda de energía térmica; sin embargo, no concuerda completamente, ya que el ahorro en la demanda de energía térmica en la empresa CICOPSAC, representa en promedio el 79% (1163,81 kWh/día, véase la Tabla 41 en la página 179) de la demanda total. Esto es debido a la población que genera el sustrato y las condiciones medioambientales, ya que Estella (2016) ha utilizado estiércol de 1200 bovinos a una temperatura promedio de 14 °C anual, con un tiempo de retención 30 días en el municipio de Galicia y en nuestra investigación utilizamos 600 cabezas de porcino, a una temperatura promedio de 19 °C anual y con un tiempo de retención de 29 días.

De otro lado las diferencias en las cantidades de la demanda de energía térmica se fundamentan en los propósitos de uso de la misma, ya que Estella (2016) la requiere para mantener una temperatura ambiente óptima para la generación del biogás, mientras que en nuestra investigación la utilizamos para el proceso de crianza y beneficio de los porcinos, siendo el acondicionamiento de los recintos de los lechones, el proceso que demanda mayor energía por las temperaturas que se requieren alcanzar.

Por todo lo mencionado, se puede concluir que, al utilizar fuentes de recursos orgánicos diferentes, los resultados varían. Sin perjuicio de ello, con purines de diferentes fuentes de origen podemos generar biogás, el cual puede ser aprovechado para generar un ahorro significativo de energía, llevándonos a

reducir de la dependencia de energía eléctrica o térmica, permitiendo ahorros en el coste de la adquisición de estos.

- Santos (2018) en su tesis titulada “Evaluación para la generación de energía eléctrica, en base a biogás producido por la bosta de cerdo en la granja rico cerdo F&G. SAC en la Clake distrito de Reque – Chiclayo-Lambayeque” define el diseño del biodigestor tipo laguna cubierta en función de la temperatura y el tiempo de retención hidráulica, con el objetivo de evaluar la generación de energía eléctrica en base a biogás producido por la bosta de cerdos para la granja “Rico Cerdo f&g SAC”.

Los criterios para la selección del tipo de biodigestor a diseñar usados en la investigación de Santos (2018) coinciden con los criterios usados en la presente investigación. Ya que se optó por el diseño de un biodigestor tipo laguna cubierta debido a que la temperatura promedio del lugar es 19 °C, y se obtuvo un tiempo de retención hidráulica de 29 días, en ambas investigaciones se trabajó con purines de cerdo.

- Mago, Sosa, Flores y Tovar (2014) en su investigación titulada “Propuesta de diseño de una planta de biogás para la generación de potencia eléctrica en zonas pecuarias de Venezuela a través del programa Biodigestor”, diseñaron una planta de biogás tipo laguna cubierta con el programa biodigestor Pro versión 3.0. obteniendo las dimensiones de la planta y con una producción de 2056,77 m<sup>3</sup>/día de biogás.

Asimismo, podemos comentar que Lucho Constantino (2017), también dimensionó una planta para 27000 cerdos, con el software BIODigestor-PRO versión 3.0, obteniendo para su diseño dos biodigestores de forma paralela de volumen 88 882,93 m<sup>3</sup> cada uno; tanque de alimentación de forma rectangular con un volumen de 230,25 m<sup>3</sup>, laguna para el biol con un volumen de 1 147,51 m<sup>3</sup>, y el volumen de lecho de secado para lodos de 167 m<sup>3</sup>.

Por lo que podemos inferir que este software es usado para diseñar plantas de generación de biogás en diferentes instancias, para la presente investigación, este software fue usado para corroborar el diseño propuesto. Respecto a los valores como el volumen de los tanques o del biodigestor, estos no concuerdan por la razón que se tratan de diferentes tipos de animales, de pesos promedio diferentes, y por diferencias medioambientales, los cuales tienen incidencia en la Carga Orgánica Volumétrica y el Tiempo de Retención Hidráulica.

Ahora bien, según Guzmán (1975), el límite usual establecido de error es menor del 5%. Por lo que, para la presente investigación, se puede concluir que el programa biodigestor Pro versión 3.0 es un software confiable en cuanto al dimensionamiento de biodigestores tipo laguna cubierta con distintos tipos de fuentes orgánicas.

- Por otro lado, la tubería de succión y descarga deben dimensionarse de modo que la velocidad del caudal no supera 2 m/s para bombas verticales y para bombas horizontales 2,5 m/s (Bombas Grundfos España., s/n), y al comparar la velocidad obtenida en la Tabla 34 (véase la página 171): 0,697 m/s y 1,5 m/s (en la succión y descarga respectivamente) es menor que 2 m/s, por lo cual, se cumple con lo indicado por la empresa Grundfos.

### **6.3 Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes**

Los autores de esta investigación nos responsabilizamos por la información emitida en el informe final de la tesis titulada “Diseño de una planta de producción de biogás para el consumo de energía térmica de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral, año 2021”, de acuerdo a la norma y reglamentos vigentes de la Universidad Nacional del Callao y con el consentimiento acreditado por el gerente general de la empresa “Centro industrial y comercial porcino SAC”, señor Pedro Casas. Véase en el Anexo C la declaración por el que el gerente general brinda la autorización del caso.

## VII. CONCLUSIONES

- De los análisis físico-químico realizados en el Laboratorio de Energías Renovables de la Universidad Nacional Agraria La Molina, se concluye que, la humedad del purín es de 74,50% y las cenizas representan el 3,06%, estos datos fueron usados en los cálculos para el diseño de la planta de producción de biogás, asimismo, la relación C/N (15,24), los valores de pH que se obtuvieron (6,21; 6,28 y 6,31) y los valores de la capacidad calorífica son óptimos para usar esta biomasa para la producción de biogás, encontrándose dentro del rango recomendado según la bibliografía consultada.
- Actualmente la empresa consume 20 balones de GLP de 45 kg a la semana en estaciones frías, equivalente a 1649,57 kWh/día y 16 balones de GLP de 45 kg a la semana en estaciones cálidas, equivalente a 1323,81 kWh/día, y comparando con el biogás generado gracias al aprovechamiento del purín de cerdo se cubrirá, en estaciones frías, el 70,6% de la energía requerida y, en estaciones cálidas, el 88% de la energía requerida. Asimismo, el diseño permite ahorrar 1163,81 kWh/día de energía en beneficio de la empresa y se producen 18,84 m<sup>3</sup> de biol y 195,7 kg de biosol por día.
- La planta diseñada cuenta con un biodigestor tipo laguna cubierta por contar con 2280 kg/día como carga diaria de biomasa y una temperatura ambiente de 19 °C, en promedio, la laguna de este biodigestor es de 221 m<sup>3</sup>, el cual producirá 186,21 m<sup>3</sup>/día de biogás, asimismo el tanque de alimentación será de 6,35 m<sup>3</sup>, la laguna de descarga para el biol será de 18,91 m<sup>3</sup>, el lecho de secado de lodos será de 3,2 m<sup>3</sup>. De otro lado, la extracción del biogás será por 6 tomas con tuberías de 25 mm de diámetro y la línea troncal será de 63 mm de diámetro; también se seleccionaron el soplador, el filtro de sulfuro de hidrógeno, el agitador axial, la bomba de lodos, el equipo condensador de vapor de agua y el quemador.

- El diseño de los componentes de la planta de producción de biogás (tanque de alimentación, biodigestor, laguna de descarga y lecho de secado) son los adecuados, ya que se cuenta con un margen de error menor al 5% en comparación con lo simulado por el programa Biodigestor-PRO versión 3.0, concluyendo, además, que la metodología seguida para nuestro dimensionamiento es válida.

## VIII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la empresa Centro industrial y comercial porcino S.A.C. de Huaral proceder con la ingeniería de detalle y el análisis económico para proceder con la instalación de la planta de producción de biogás.
- Se recomienda a la empresa Centro industrial y comercial porcino S.A.C. de Huaral que el proceso de acondicionamiento de lechones sea abastecido por el biogás a producirse y que para el área de sacrificio o camal se cuente con un sistema de alimentación dual de combustible (biogás y GLP).
- Se recomienda a la empresa Centro industrial y comercial porcino S.A.C. de Huaral limpiar los galpones de las marranas con un volumen de agua de 4,07 m<sup>3</sup>/d, de esta manera se estaría cumpliendo con una dilución adecuada del 10% de la mezcla agua/purín.
- Se recomienda a las instituciones competentes elaborar reglamentos, normas y disposiciones para la promoción y aplicación de biodigestores en el Perú.
- Se recomienda a la Universidad Nacional del Callao la implementación de laboratorios relacionados a biocombustibles, para despertar el interés en los alumnos de la UNAC en contribuir con avances tecnológicos en la materia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AGENCY United States Environmental Protection (EPA). *Final Cost Methodology Report For Beel and Dairy Animal Feeding Operations*. [en línea]:. Washington: EPA, 2001. [fecha de consulta: 08 de julio de 2021]. Disponible en: <https://nepis.epa.gov/Exe/tiff2png.exe/20002QB1.PNG?-r+75+g+7+D%3A%5CZYFILES%5CINDEX%20DATA%5C00THRU05%5CTIFF%5C00000334%5C20002QB1.TIF>

ALARCÓN O. Los elementos traza. *Revista Médica de la Extensión Portuguesa – ULA* [en línea]. Noviembre de 2009, 4(3), 107-124. [fecha de consulta: 7 de Julio de 2021]. Disponible en: <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/31376>

ALCIDES, D. *Construcción e Instalación de un Biodigestor en Flias Rurales en Piribebuy*. [en línea]:. Paraguay: Ministerio de obras públicas y comunicaciones, 2014 [fecha de consulta: 05 de abril de 2021]. Disponible en: <https://docplayer.es/14463229-Construccion-e-instalacion-de-un-biodigestor-en-flias-rurales-en-piribebuy.html>

ANDRÉS, R. et al. *Sustancia y reacciones químicas como concepto centrales en química. Una discusión conceptual, histórica y didáctica*. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*. [en línea]:. Febrero-abril, 2011, 241-254 [fecha de consulta: 17 de mayo de 2021]. ISSN: 1697-011X. Disponible en: <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/2714/2362>

ALFARO, C. *Metodología de la investigación científica aplicada a la ingeniería*. Callao. [en línea]:. Editorial universitaria Callao, 2012, pp. 17: [fecha de consulta: 13 de enero de 2021]. ISSN: s/n , Disponible en:

<https://1library.co/document/koopv1mq-metodologia-de-investigacion-cientifica-aplicado-a-la-ingenieria.html>

ALONSO Dania et al. Tratamiento de residuales porcinos para la producción de biogás. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar* [en línea]. 2014, 48(3), 16-21. [fecha de Consulta 14 de junio de 2021]. ISSN: 0138-6204. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223132853003>

BALESTRINI, A. *Como se Elabora el Proyecto de Investigación* [en línea]:. Caracas : BL Consultores Asociados, Servicio Editorial, 2006. [fecha de consulta: 02 de julio de 2021]. Disponible en: [https://issuu.com/sonia\\_duarte/docs/como-se-elabora-el-proyecto-de-inve](https://issuu.com/sonia_duarte/docs/como-se-elabora-el-proyecto-de-inve)

BARRENA, M. et al. Influencia de la temperatura ambiente sobre la producción de biogas. *Revista de investigaciones de la Universidad le Cordon Bleu* [en línea]. 2017, 4(1), 15-25. [fecha de consulta: 10 de Junio de 2021]. ISSN 2409-1537. Disponible en: <https://revistas.ulcb.edu.pe/index.php/REVISTAULCB/article/view/55>

BENJAMIN, F. Las enzimas. [en línea]. Madrid: Colegio Universitario de estudios financieros, 2019 [fecha de consulta: 18 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://www.docsity.com/es/bioquimica-enzimas-2/4484378/>

BERNAL, C. *Metodología de la investigación* [en línea]:. 3º ed. Person educación, Colombia, 2010, pp. 106 . [fecha de consulta: 18 de enero de 2021]. Capítulo 7. Descripción de datos. ISBN: 978-958-699-128-5. Disponible en: <https://abacoenred.com/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf.pdf>

BLANCO, D. et al. *Eficiencia del tratamiento de residuales porcinos en digestores de laguna tapada*, [en línea]:. Abril-Octubre, 2015, [fecha de consulta: 01 de abril de 2021]. ISSN: 2078-8452, Disponible en:

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942015000400008](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942015000400008)

BRAUN, R. *Eliminación mediante impactos ambientales positivos de estiércoles y purines en las empresas porcinas, Producción de biogás* [en línea]. Cordova : Fericerdo, 2013. [fecha de consulta 9 de julio de 2021]. Disponible en: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_fericerdo\\_2013\\_purines.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_fericerdo_2013_purines.pdf)

BRISEÑO, A. *Producción de biogás a través de la codigestión de residuos sólidos y semisólidos: hacia una planta centralizada de biogás para la generación de energía.*, México. Tesis (Ingeniería Ambiental). Santiago de Querétaro: Centro de investigación y desarrollo tecnológico en electroquímica, S.C, 2017, 26 pp, . [fecha de consulta: 14 de mayo de 2021]. Disponible en:

<https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1021/186/1/Producci%C3%B3n%20de%20biog%C3%A1s%20a%20traves%20de%20la%20codigesti%C3%B3n%20de%20residuos%20s%C3%B3lidos%20y%20semis%C3%B3lidos%20hacia%20una%20planta%20centralizada%20de%20biog%C3%A1s%20para%20la%20generaci%C3%B3n%20de%20energ%C3%ADa..pdf>

CABOS, S. *Evaluación de las concentraciones de Nitrógeno, Fósforo y Potasio del biol y biosol obtenidos a partir de estiércol de ganado vacuno en un biodigestor de geomembrana de policloruro de vinilo.* Tesis (Biólogo), Trujillo, 2019. 10-14 pp, [fecha de consulta: 26 de febrero de 2021]. Disponible en:

<https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/4264/Cabos%20Sanchez%2c%20Jeisson%20David.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CALLEJA, P. et al. *Introducción a la Ingeniería Química*. [en línea]:. Madrid : Editorial Síntesis, 1999, pp. 48-53, [fecha de consulta: 01 de abril de 2021]. ISSN: 9788477356643, Disponible en:

<https://www.librosuned.com/LU21790/Introducci%C3%B3n-a-la-Ingenier%C3%ADa-Qu%C3%ADmica.aspx>

CHASE, R. et al. *Administración de operaciones producción y cadena de suministros*, [en línea]:. Duodécima ed. México D.F. : Mc graw hill, 2006, pp, 135 [fecha de consulta: 26 de junio de 2021]. ISSN: 1234567890-0-07-722893-6 , Disponible en: [https://www.ucursos.cl/usuario/b8c892c6139f1d5b9af125a5c6dff4a6/mi\\_blog/r/Administracion\\_de\\_Operaciones\\_-\\_Completo.pdf](https://www.ucursos.cl/usuario/b8c892c6139f1d5b9af125a5c6dff4a6/mi_blog/r/Administracion_de_Operaciones_-_Completo.pdf)

CICARELLI, M. et al. Curva de crecimiento de cerdos de un criadero comercial de Tandil. [en línea]:. En: La Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires Argentina (agosto, 2017). Panel [fecha de consulta: 18 de julio de 2021]. Disponible en:<http://www.ciap.org.ar/Sitio/Archivos/curvadecrecimientodecerdosenuncriaderocomercialdeTandil.pdf>

CONDREA, R. Definición de la metodología del test de biodegradabilidad bajo condiciones aerobias. Tesis (Magister en Gestión, tratamiento y Valoración de Residuos Organicos). Orihuela: Universidad Miguel Hernández de Elche, 2016, pp. 36-43. [fecha de consulta: 03 de marzo de 2021]. Disponible en: <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/3031/1/TFM%20Condrea%20Rinea%20Gina.pdf>

CONSORCIO provincial residuos solidos urbanos. Residuos Orgánicos [en línea]. Malaga: consorciorsumalaga.com, [fecha de consulta: 27 de junio de 2021]. <https://www.consorciorsumalaga.com/5936/organico>

CORTÉS, L. Producción de Biogás a Partir de Estiércol Porcino a Escala Piloto: Caso de Estudio Biorreactor Continúo Tubular Plástico (BCTP) Finca Tosoly, Colombia. Tesis (Título de ingeniero químico). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2015. 14 pp. [fecha de consulta: 30 de junio de 2021]. Disponible en:  
<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2015/160327.pdf>

Creando conciencia 10/19. Universo Porcino [en línea], 2005 [fecha de consulta: 24 de junio de 2021]. Disponible en:  
[http://www.aacporcinos.com.ar/articulos/creando\\_conciencia\\_04-10-2019\\_que\\_es\\_el\\_biol.html](http://www.aacporcinos.com.ar/articulos/creando_conciencia_04-10-2019_que_es_el_biol.html).

CRUZ, G. Valoración energetica de purines por digestión anaerobia en una explotación porcina. España: Tesis (Ingeniería Química). Tenerife: Universidad de la Laguna, 2015. 28-35 pp. [fecha de consulta: 25 de julio de 2021]. Disponible en:  
<https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/1397/Valorizacion+energetica+de+purines+por+digestion+anaerobia+en+una+explotacion+porcina.pdf;jsessionid=049AB543D75C4AF3A8B8B297036FB7D4?sequence=1>

CUEVA, A. Obtención de biogás de estiércol porcino y restos vegetales, por fermentación semicontinua. Tesis ( Biologo microbiologo). Tacna: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, 2012. 28-38 pp. [fecha de consulta: 19 de marzo de 2021]. Disponible en:  
[http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/1885/22\\_2012\\_cueva\\_ancalla\\_bl\\_faci\\_biologia\\_microbiologia.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/1885/22_2012_cueva_ancalla_bl_faci_biologia_microbiologia.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

DEYANIRA-MUÑOZ, M. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 2013. Revista de educación en ingeniería agropecuaria [en línea]. Julio-Diciembre, 2017, 35 pp, [fecha de consulta: 7 de agosto de 2021]. ISSN: 1909-9959. Disponible en: <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/issue/view/47>

DONALD, F. et al. *Fundamentos de Mecánica de Fluidos*, [en línea]:. 1º ed. Mexico D.F.: Limusa Wiley, 1999, pp. 121 [fecha de consulta: 29 de agosto de 2021]. ISSN: 978-0470-26284-9, Disponible en: [https://www.academia.edu/16613095/Fundamentos\\_de\\_Mecanica\\_de\\_Fluidos\\_Munson\\_Young\\_Okiishi\\_6ed](https://www.academia.edu/16613095/Fundamentos_de_Mecanica_de_Fluidos_Munson_Young_Okiishi_6ed)

EMPRESA Aqualimpia engineering. *Biodigestores industriales-digestores*. 2017. [fecha de consulta: 16 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://www.aqualimpia.com/>

EMPRESA Grundfos. *Manual de bombeo de agua residuales*. [en línea]:. Madrid: GRUNDFOS, s/n. [fecha de consulta: 27 de agosto de 2021]. Disponible en: [https://www.academia.edu/23002670/GRUNDFOS\\_AGUAS\\_RESIDUALES\\_MANUAL\\_DE\\_BOMBEO\\_DE\\_AGUAS\\_RESIDUALES](https://www.academia.edu/23002670/GRUNDFOS_AGUAS_RESIDUALES_MANUAL_DE_BOMBEO_DE_AGUAS_RESIDUALES).

ESTELLA, B. Estudio de la producción energética a partir del aprovechamiento del biogás en una granja de ganado bovino. *Tesis* (Ingeniería en tecnologías Industriales). Madrid: Universidad Carlos III de Madrid, 2016. 100 pp [fecha de consulta: 1 de setiembre de 2021]. Disponible en: [https://erchivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/26877/TFG\\_Paula\\_Estella\\_Bases.pdf](https://erchivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/26877/TFG_Paula_Estella_Bases.pdf).

FERNANDEZ, G. Selección y dimensionamiento de un sistema de generación de biogás mediante digestores anaerobia de purines codigeridos con

glicerina. Tesis ( Ingeniero químico), Cadiz: Universidad de Cádiz, 2016. 218-234 pp, [fecha de consulta: 12 de abril de 2021]. Disponible en: <https://rodin.uca.es/xmlui/handle/10498/18784>

FERNANDO, A. et al. *Diseño del sistema de generación de energía eléctrica en la comunidad de Santa Rosillo, a partir de la producción local de biogás*. [en línea]:. San Martín: Municipalidad de San Martín, 2011 [fecha de consulta: 19 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://infohub.practicalaction.org/bitstream/handle/11283/622523/0000429001350578946.pdf;jsessionid=EDD11A91B890C0BC7D38C0E13B4EDC2B?sequence=1>

FLORES, W. Producción y utilización de biogás a partir de purines, como una alternativa de energía renovable en el C.P. Chen Chen-Moquegua. Tesis (Ingeniero agrcola), Puno: Universidad del Altiplano, 2013. 106 pp, [fecha de consulta: 26 de agosto de 2021]. Disponible en: [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4523/Flores\\_Fernandez\\_Wilson\\_Javier.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4523/Flores_Fernandez_Wilson_Javier.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

FUNDACIÓN energía sin fronteras ( EsF). Biomasa y desarrollo, guía de sensibilización . Madrid, [en línea]. Madrid: EsF, 2012 [fecha de consulta: 25 de junio de 2021]. Disponible en: <https://energiasinfronteras.org/wp-content/uploads/2020/08/GUIA-BIOMASAbaja.pdf>

GERARDO, C., SANTIAGO,M., DEYANIRA, M. Evaluación de índices de conversión energética en la producción de gas combustible a partir de biomasa. Revista científica scielo [en línea]. Marzo-Noviembre, 2013, 5-17 pp, [fecha de consulta: 18 de agosto de 2021]. ISSN: 1692-3561. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-35612013000300014](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612013000300014)

GUZMÁN, M. *El error experimental en la investigación científica: cuantificación de elementos contribuyentes*. Guatemala: Repositorio Institucional de la OPS, 1975 [fecha de consulta: 1 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/17596?locale-attribute=es>

HERNANDEZ, S. *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y Mixta*. [en línea]. Celaya: Universidad de Celaya, Fondo editorial Me Graw Hill, 2018 [fecha de consulta: 19 de mayo de 2021]. Disponible en: [http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales\\_de\\_consulta/Drogas\\_de\\_Abuso/Articulos/SampieriLasRutas.pdf](http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/SampieriLasRutas.pdf)

HUERTAS, P. Evaluación de la remoción del sulfuro de hidrógeno en el biogás mediante el método de la aireación. Tesis (Ingeniero Ambiental), Lima: Universidad Nacional Agraria la Molina, 2019. 55 pp, [fecha de consulta: 28 de mayo de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4042/huertas-parrales-joanna-kenit.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

LOBRERA, J. et al. *Reutilización agronómica de los purines del cerdo* [en línea]. Murcia, España: CompoRapid, 1998. [fecha de consulta 26 de Junio de 2021]. Disponible en: [https://www.carm.es/web/integra.servlets.BlobNoContenido?IDCONTENIDO=8337&TABLA=PUBLICACIONES\\_TEXTO&IDTIPO=246&RASTRO=c434\\$m1259,20561&CAMPOCLAVE=IDTEXTO&VALORCLAVE=3302&CAMPOIMAGEN=TEXTO&ARCHIVO=Texto+Completo+1+Reutilizaci%F3n+agron%F3mica+de+los+purines+de+cerdo.pdf](https://www.carm.es/web/integra.servlets.BlobNoContenido?IDCONTENIDO=8337&TABLA=PUBLICACIONES_TEXTO&IDTIPO=246&RASTRO=c434$m1259,20561&CAMPOCLAVE=IDTEXTO&VALORCLAVE=3302&CAMPOIMAGEN=TEXTO&ARCHIVO=Texto+Completo+1+Reutilizaci%F3n+agron%F3mica+de+los+purines+de+cerdo.pdf)

LÓPEZ, J. *Guía técnica para el manejo y aprovechamiento de biogás en plantas de tratamiento de aguas residuales* [en línea]. 1er. Edición. Ciudad de México, México, Julio de 2017. [fecha de consulta 25 de Junio de 2021]. Número de registro: 03-2017-071011171400-01. Disponible en:

[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/265430/Guia\\_lodos\\_2017.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/265430/Guia_lodos_2017.pdf)

LOPEZ, E. *Los Sistemas de Producción en una Empresa* [en línea]. 13 de junio de 2016. [fecha de consulta 14 de Junio de 2021]. Disponible en: <https://www.emprendices.co/los-sistemas-produccion-una-empresa/>

LORENZO Y. y OBAYA M. La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar* [en línea]. 2014, XXXIX(1), 35-48 [fecha de consulta 16 de Junio de 2021]. ISSN: 0138-6204. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120659006>

LOZADA, J. Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. *CienciAmérica* [en línea]. Diciembre de 2014, 3(1), 34-39. [fecha de consulta 23 de Junio de 2021]. ISSN 1390-9592. Disponible en: <http://cienciamerica.uti.edu.ec/openjournal/index.php/uti/article/view/30>

LUCHO, C. *Diseño de biodigestores para principiantes CIEMAD 2015* [en línea]. En: *4º Coloquio de Estudiantes CIEMAD 2015, · Noviembre 2015*, Hidalgo, México: Centro de investigación químicas, UAEH. [fecha de consulta 15 de junio de 2021]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/320237780\\_Disenos\\_de\\_biodigestores\\_para\\_principiantes-CIEMAD\\_2015](https://www.researchgate.net/publication/320237780_Disenos_de_biodigestores_para_principiantes-CIEMAD_2015)

MAGO, M. et al. *Propuesta de diseño de una planta de biogás para la generación de potencia eléctrica en zonas pecuarias de Venezuela a través del programa Biodigestor*. Revista INGENIERÍA UC. [en línea]. mayo-agosto, 2014, 21(2), pp. 60-65. [fecha de consulta: 12 de Julio de 2021]. ISSN 1316-6832. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70732656008>

MARTÍ, J. *Biodigestores familiares, guía de diseño y manual de instalación. Biodigestores de polietileno tubular de bajo costo para trópicos, valle y altiplano* [en línea]. La paz, Bolivia, 2008. ISBN: 978-99954-0-339-3. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/282156621\\_Biodigestores\\_familiares\\_Guia\\_de\\_diseno\\_y\\_manual\\_de\\_instalacion\\_2008](https://www.researchgate.net/publication/282156621_Biodigestores_familiares_Guia_de_diseno_y_manual_de_instalacion_2008)

MARTINEZ, M. Producción potencial de biogás empleando excretas de ganado porcino en el estado de Guanajuato. *Nova Scientia* [en línea]. 2015, 7(15). ISSN 2007-0705. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-07052015000300096](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052015000300096)

MEDINA, V., LAWRENCE, Q., JUSCAMAITA, M. Evaluación de la Calidad de Biol de Segunda Generación de Estiércol de Ovino Producido a Través de Biodigestores. *Revista científica Dialnet* [en línea]. Marzo-Julio, 2015, 117-119 pp, [fecha de consulta: 16 de julio de 2021]. ISSN: 2519-7398. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6171095>

MINISTERIO de Educación, Ciencia y Tecnología de la Nación (1ª edición). *La energía, cambios y movimientos* [en línea]. Buenos Aires, Argentina, 2007. [fecha de consulta: 18 de junio de 2021]. ISBN 978-950-00-0667-5. Disponible en: <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL002713.pdf>

MINISTERIO de Ambiente (MINAM). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero*. 2016 [fecha de consulta: 24 de julio de 2021]. Disponible en: <https://infocarbono.minam.gob.pe/inventarios-nacionales-gei/intro/>

MINISTERIO de Energía y Minas y MINISTERIO de la Producción. Costos de los combustibles [en línea]. En: Seminario de capacitación: “Eficiencia energética y administración de la demanda en el sector productivo”,

septiembre/octubre de 2008, Lima. [fecha de consulta 20 de julio de 2021].  
Disponible en:  
[https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con\\_uibd.nsf/AE982758BA07E4B3052574F7005E39CA/\\$FILE/Costosdeloscombustibles.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con_uibd.nsf/AE982758BA07E4B3052574F7005E39CA/$FILE/Costosdeloscombustibles.pdf)

MIRANDA, Nelson. *Análisis de la normativa pertinente para la implementación de un manual de inspección y mantenimiento de las bombas de lodos usadas en el proceso de perforación de pozos petroleros en la industria hidrocarburífera del Ecuador*. Tesis (Título de Ingeniero en Petróleos), Quito: Universidad Tecnológica Equinoccial, Junio del 2014. [fecha de consulta 10 de junio de 2021]. Disponible en:  
<http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/14352>

MOTT R. *Mecánica de Fluidos Aplicada, 4ta. edición (Applied Fluid Mechanics, Fourth Edition)*. México: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A., 1996. ISBN 0-02-384231-8

OPS/CEPIS. *Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques imhoff y lagunas de estabilización* [en línea]. Lima, 2005. [fecha de consulta 8 de julio de 2021]. Disponible en:  
[https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/OPS%202005.%20Gu%C3%ADa%20para%20el%20dise%C3%B1o%20de%20tanques%20s%C3%A9pticos.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005.%20Gu%C3%ADa%20para%20el%20dise%C3%B1o%20de%20tanques%20s%C3%A9pticos.pdf)

ORGANISMO Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. *El gas natural y sus diferencias con el GLP* [en línea]. Lima: Teps Group S.A.C. por encargo de OSINERGMIN - GART, 2012. [fecha de consulta 5 de julio de 2021]. Disponible en:  
<http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/hm000661.pdf>

ORGANIZACIÓN de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO). *Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores*. Guía

teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores [en línea]. Buenos Aires : FAO, 2019. [fecha de consulta: 24 de agosto de 2021]. Disponible en:

[http://www.probiomasa.gob.ar/\\_pdf/GuiadeBiogasyBiodigestores-19-08-29.pdf](http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/GuiadeBiogasyBiodigestores-19-08-29.pdf)

OTZEN, T y MANTEROLA, C. Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology* [en línea]. Temuco, Chile, 2017,35(1), 227-232 [fecha de Consulta 14 de junio de 2021]. ISSN 0717-9502. Disponible en:

[https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-95022017000100037](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-95022017000100037)

PCE Instruments. Medidores de gas. [en línea]. España. [fecha de consulta: 30 de julio de 2021]. <https://www.pce-iberica.es/>. <https://www.pce-iberica.es/>.

PERALTA, J. *Recomendaciones técnicas para la gestión ambiental en el manejo de purines de la explotación porcina* [en línea]. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones agropecuarias (INIA), 2005. [fecha de consulta 6 de julio de 2021]. ISBN: 956-7016-25-9/ ISSN: 0717-4713. Disponible en: [http://www.sag.cl/sites/default/files/MANEJO\\_PURINES\\_PORCINOS.pdf](http://www.sag.cl/sites/default/files/MANEJO_PURINES_PORCINOS.pdf)

PÉREZ, S y RENEDO, C. *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas. Tema 06 Flujo de Fluidos en Tuberías* [en línea]. Comunidad autónoma de Cantabria: Open Course Ware, Dpto. de ingeniería eléctrica y energética s.f. [fecha de Consulta 10 de junio de 2021], publicado bajo Licencia: Creative Commons BY-NC-SA 3.0. Disponible en: <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1307/course/section/1605/T06.pdf>

PEZO A. et al. *Diseño del sistema de generación de energía eléctrica en la comunidad de Santa Rosillo, a partir de la producción local de biogás* [en línea]. Santa Rosillo, San Martín: Practical Action Perú, 2011. [fecha de

consulta 8 de julio de 2021]. Disponible en:  
<https://practicalaction.org.pe/disenio-del-sistema-de-generacion-de-energia-electrica-en-la-comunidad-de-santa-rosillo-a-partir-de-la-produccion-local-de-biogas/>

PORRAZ, A. *Diplomado en Análisis de Información - Tipos de muestreos* [en línea]. Ciudad de México: Centro Público de Investigación, s.f. pág. 191. [fecha de consulta 5 de julio de 2021]. Disponible en:  
<https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/163/1/19-Tipos%20de%20Muestreo%20-%20Diplomado%20en%20An%C3%A1lisis%20de%20Informaci%C3%B3n%20Geoespacial.pdf>

PRETELL, C. *Propuesta de tratamiento de excretas del ganado bovino del establo monteverde para la generación de energía y su uso en el ordeño mecánico*. Tesis (Título de Ingeniero Industrial), Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, 7 de noviembre de 2017. [fecha de consulta 10 de julio de 2021]. Disponible en:  
<https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/1496>

PROBIOGÁS. Desarrollo de sistema sostenible de producción y uso de biogás agroindustrial en España [en línea]. En: Rueda de prensa Paterna (Valencia). Valencia, España, 09 de Julio de 2009. [fecha de consulta: 13 de Mayo de 2021]. Disponible en:  
[http://213.229.136.11/bases/ainia\\_probiogas.nsf/0/14D92A9736B2DB76C12575EF002E22FB/\\$FILE/MEDIOS%20ASAMBLEA%20PBG%2009%2007%2009\\_definitiva.pdf](http://213.229.136.11/bases/ainia_probiogas.nsf/0/14D92A9736B2DB76C12575EF002E22FB/$FILE/MEDIOS%20ASAMBLEA%20PBG%2009%2007%2009_definitiva.pdf).

QUIROZ, M. Diseños de Plantas Medianas y Grandes. [en línea]. *Curso de Formación Especializada en Biogás para Profesionales*. En: (Módulo 4: 2017: Santiago de Chile). Panel [fecha de consulta: 06 de abril de 2021]. Disponible en:

<https://es.scribd.com/document/483080451/Biogas-modulo4-Diseno-de-Plantas-Medianas-y-Grandes-11-2017>

RAVIOLO, A., GARRITZ, A., SOSA, P. Sustancia y reacciones químicas como concepto centrales en química. Una discusión conceptual, histórica y didáctica. Sustancia y reacciones químicas como concepto centrales en química. Una discusión conceptual, histórica y didáctica. Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias , [en línea]. Febrero-abril, 2011. 241 pp, [fecha de consulta: 27 de junio de 2021]. ISSN: 1697-011X. Disponible en:  
<https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/2714/2362>

Razas porcinas [en línea], 2020 [fecha de consulta: 25 de julio de 2021]. Disponible en: <https://razasporcinas.com/ciclo-productivo-de-las-granjas-porcinas-y-sus-productos/>

Reglamento de seguridad de las plantas de biogás. *Seguridad de plantas de biogás e introduce modificaciones al reglamento de instaladores de Gas* [en línea]. Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, Chile, 1 de septiembre de 2016. [fecha de consulta 20 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1099847>

REYES, E. *Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos*. Revista Científica de FAREM-Estelí. Medio ambiente, tecnología y desarrollo humano [en línea]. Nicaragua, Octubre-diciembre, 2017. 24, 60-81. Disponible en: <https://www.camjol.info/index.php/FAREM/article/view/5552/5248>

RIVAS, B. et al. Perspectivas de obtención de energía renovable de la biomasa del estiércol del ganado lechero en la región centro-sur de Chihuahua. *Revista Mexicana de Agronegocios* [en línea]. Enero-junio, 2012. 30(), 872-

885. [fecha de consulta 4 de julio de 2021]. ISSN 1405-9282. Disponible en:  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14123097009>

RODRIGUEZ, F. Generalidades acerca de las Técnicas de Investigación Cuantitativa. Revista Dialnet [en línea]. Enero-junio, 2007. 12 pp, [fecha de consulta: 17 de abril de 2021]. ISSN: 1909-4302. Disponible en:  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4942053>

RODRÍGUEZ, E. y FLORES, H.. Biodigestión anaeróbica. En: Curso-Taller: Tratamiento de Residuos Orgánicos mediante el Uso de Biodigestores (Presentación de Taller, 2018, Instituto de Ciencias de la Naturaleza, Territorio y Energías Renovables, PUCP). Lima, Perú, 2018.

ROMERO, G. *Manual de dimensionamiento y diseño de biodigestores industriales para clima tropical* [en línea]. Alemania: Maike Moncayo Hilmer, 2014. [fecha de consulta 2 de marzo de 2021].

RUSSELL, L. y ADEBIYI, G. *Termodinámica clásica*. Delaware, E.U.A. Addison-Wesley Iberoamericana, S.A., 1997. ISBN: 0-201-65358-3.

SALA, J. y LÓPEZ, L. (Ed. 3). *Termodinámica fundamental* [en línea]. La Rioja: Universidad de La Rioja, Servicio de Publicaciones, 2011. [fecha de consulta 5 de julio de 2021]. ISBN: 978-84-694-1721-8. Disponible en:  
<https://dialnet.unirioja.es/download/libro/267968.pdf>

SANTOS, Paul. *Evaluación para la generación de energía eléctrica, en base a biogás producido por la bosta de cerdo en la granja Rico Cerdo f&g. S.A.C en la clake distrito de Reque – Chiclayo-Lambayeque*. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico Electricista), Pimentel: Universidad Señor de Sipán, 2018. [fecha de consulta 8 de julio de 2021]. Disponible en:  
<https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/5475>

SATTLER AG. [en línea]. Austria. Sattler AG – Werk Rudersdorf, s.f. [fecha de consulta 15 de Junio de 2021]. Disponible en: <https://ceno.sattler.com/en/home>

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). Especificaciones Técnicas para el Diseño y Contrucción de Biodigestor en México [en línea]. México: FIRCO, enero 2010. [fecha de Consulta 11 de junio de 2021]. Disponible en: <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/C001057.pdf>

SERRANO, E. Aplicación agronómica de purín de cerdo y de un polielectrolito: efectos en el cultivo de Ryegrass y en las aguas de drenaje [en línea]. En: XXXVIII Curso internacional de edafología y biología vegetal. Sevilla, España, Julio 2001. [fecha de consulta 10 de junio de 2021]. Disponible en: [https://digital.csic.es/bitstream/10261/97909/1/Aplicacion\\_agronomica\\_purin\\_cerdo.pdf](https://digital.csic.es/bitstream/10261/97909/1/Aplicacion_agronomica_purin_cerdo.pdf)

SERWAY R. y JEWETT J. (séptima edición). *Física para ciencias e ingeniería* [en línea]. Cengage Learning Editores. México, 2008. [fecha de consulta: 10 de julio de 2021]. ISBN-13: 978-607-481-357-9. Disponible en: <http://www2.fisica.unlp.edu.ar/materias/fisgenI/T/Libros/Serway-7Ed.pdf>

SISO, Z. *Un modelo de secuencias de enseñanza de la tematica: Mezclas. tipos y separación*. Dialogos educativos [en línea]. Carabobo, Venezuela, 7 de Julio de 2015: 15(29), 124-140. [fecha de Consulta 10 de junio de 2021]. ISSN 0718-1310. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/328365005\\_Revista\\_Electronica\\_UN\\_MODELO\\_DE\\_SECUENCIA\\_DE\\_ENSEANZA\\_DE\\_LA\\_TEMATICA\\_MEZCLAS\\_TIPOS\\_Y\\_SEPARACION\\_DE\\_MEZCLAS\\_A\\_TEACHING\\_SEQUENCE\\_MODEL\\_OF\\_THE\\_AREA\\_OF\\_MIXTURES\\_TYPES\\_AND\\_SEPARATION\\_OF\\_MIXTURES](https://www.researchgate.net/publication/328365005_Revista_Electronica_UN_MODELO_DE_SECUENCIA_DE_ENSEANZA_DE_LA_TEMATICA_MEZCLAS_TIPOS_Y_SEPARACION_DE_MEZCLAS_A_TEACHING_SEQUENCE_MODEL_OF_THE_AREA_OF_MIXTURES_TYPES_AND_SEPARATION_OF_MIXTURES)

SOTOMAYOR, E et al. *Biogás de Residuos Agropecuarios en la Región de los Ríos* [en línea]:. Chile: Ministerio de la agricultura, 2016 [fecha de consulta: 13 de marzo de 2021]. Disponible en:  
[https://www.researchgate.net/publication/342183058\\_BIOGAS\\_DE\\_RESIDUOS\\_AGROPECUARIOS\\_EN\\_LA\\_REGION\\_DE\\_LOS\\_RIOS](https://www.researchgate.net/publication/342183058_BIOGAS_DE_RESIDUOS_AGROPECUARIOS_EN_LA_REGION_DE_LOS_RIOS).

SOLBES, J. y TARÍN F. *Generalizando el concepto de energía y su conservación. Didáctica de las ciencias experimentales y sociales* [en línea]. Valencia, España, 2008: s.n.(22), 155-180. [fecha de consulta 12 de junio de 2021]. ISSN 0214-4379. Disponible en:  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2934611>

SUERO, D. *Evaluación de opciones tecnológicas para el tratamiento de efluentes de la unidad experimental de cerdos de la UNALM*. Tesis (Título de Ingeniero Agrícola) Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria de La Molina, 2016. [fecha de consulta 12 de junio de 2021]. Disponible en:  
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2860/T01-S8-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

UNE. Normalización española. Aparatos de refrigeración doméstico. Características y métodos de ensayo. UNE-EN 62552-2. Madrid: AENOR, 2020. 25 pp.

UNIVERSIDAD Politécnica de Madrid. Guía técnica La gestión de residuos municipales [en línea]. Madrid, España, 2015. Editorial MIC. [fecha de consulta: 29 de junio de 2021]. ISBN 978-84-96442-65-8. Disponible en:  
[http://femp.femp.es/files/3580-1356-fichero/Guia-Tecnica-Gestion-Residuos-Municipales\\_Web\\_Edicion2.pdf](http://femp.femp.es/files/3580-1356-fichero/Guia-Tecnica-Gestion-Residuos-Municipales_Web_Edicion2.pdf)

UNIVERSIDAD Ramon Llull. Instrumentos y metodologías [en línea], 28 de Mayo de 2014. [fecha de consulta: 29 de junio de 2021]. Disponible en: <http://www.obsebre.es/es/meteorologia-instrumentos-y-metodologia>.

VARNERO M. *Manual de Biogás* [en línea]. Santiago de Chile, 2011 [fecha de consulta: 10 de junio de 2021]. ISBN 978-95-306892-0. Disponible en: <https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>

VERA-ROMERO, I., et al. Potencial de generación de biogás y energía eléctrica. Parte I: excretas de ganado bovino y porcino. Ingeniería, Investigación y Tecnología [en línea], Julio-Setiembre de 2014. volumen XV. número 3 [fecha de consulta: 18 de Julio de 2021]. ISSN 1405-7743. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S140577431470352X>.

VIÑAS M., RUBIO N. y GARCÍA R. *Tecnología para el tratamiento y aprovechamiento de residuales porcinos*. [en línea] Habana, Cuba: Empresa Nacional de Proyectos Agropecuarios (ENPA ), s.f. [fecha de consulta: 10 de junio de 2021]. Disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com/new3informes/trataaguaporcinos.pdf>

## ANEXOS

- A. Matriz de consistencia.
- B. Árbol de problemas.
- C. Consentimiento informado.
- D. Validación de instrumentos.
- E. Reportes de las cantidades de cerdos y guías de remisión de combustibles adquiridos.
- F. Licencia y reporte de software.
- G. Reporte de la temperatura ambiente de la zona.
- H. Cotización, condiciones generales y reporte de laboratorio.
- I. Catálogos de equipos.
- J. Planos.
- K. Galería Fotográfica.
- L. Cálculo de área de geomembrana.
- M. Cronograma de ejecución de obra tentativo

# **Anexo A**

## **Matriz de consistencia**

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

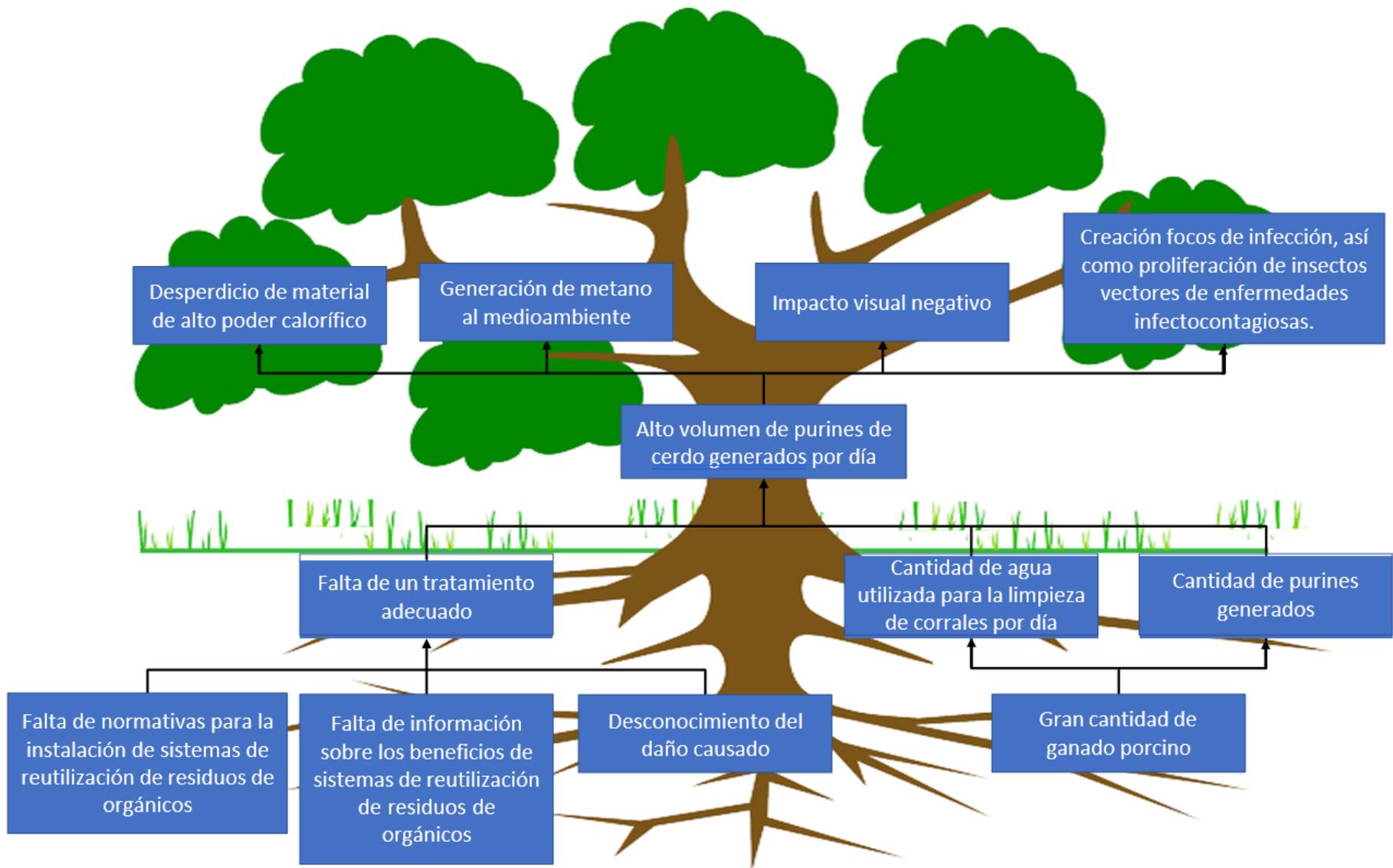
**Diseño de una planta de producción de biogás para el consumo de energía térmica de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral, año 2021.**

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGIA
<p><b><u>Problema general</u></b> ¿En qué medida el diseño de una planta de producción de biogás permitirá el consumo de energía térmica para la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral, en el año 2021?</p>	<p><b><u>Objetivo general</u></b> Diseñar una planta de producción de biogás para el consumo de energía térmica de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral, en el año 2021.</p>	<p><b><u>Hipótesis general</u></b> Al diseñar una planta de producción de biogás, se logra el consumo de energía térmica para la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral, en el año 2021.</p>	<p><b><u>Variable Independiente:</u></b> X: Planta de producción de biogás</p> <p><b><u>Dimensiones:</u></b> - Características físicas y químicas de los purines de cerdo. - Diseño de la planta para la producción de biogás. - Validación del diseño de la planta de producción de biogás.</p>	<p><b><u>Tipo de investigación</u></b> Aplicada</p> <p><b><u>Método</u></b> Deductivo-Analítico</p> <p><b><u>Diseño</u></b> Cuantitativo</p>
<p><b><u>Problemas específicos</u></b> a). ¿Cuáles son las características físicas y químicas de los purines de cerdo de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral?</p> <p>b). ¿Cuál es el actual consumo de energía térmica y el volumen de biogás equivalente que generarán los purines en la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral?</p> <p>c). ¿Cómo diseñar una planta para la producción de biogás de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral?</p>	<p><b><u>Objetivos específicos</u></b> a). Determinar las características físicas y químicas de los purines de cerdo de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral.</p> <p>b). Determinar el actual consumo de energía térmica y el volumen de biogás equivalente que generarán los purines en la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral.</p> <p>c). Definir el diseño de la planta para la producción de biogás de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral que permita el ahorro de gas licuado de petróleo que actualmente consume.</p>	<p><b><u>Hipótesis específicas</u></b> a). Si se determinan las características físicas y químicas de los purines de cerdo de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral, ello ayuda en el diseño de la planta de producción de biogás a partir de los purines de cerdo en esta empresa.</p> <p>b). Si se determina el actual consumo térmico y el volumen de biogás equivalente que generarán los purines, se puede cuantificar el uso directo de este energético en la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral.</p> <p>C). Si se define el diseño de la planta para la producción de biogás de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral, se logra el ahorro de gas licuado de petróleo que actualmente consume.</p>	<p><b><u>Indicadores:</u></b> - Análisis elemental. - Análisis proximal (termogravimétrico) - Análisis de contenido energético. - Análisis de ph. - Temperatura ambiente (°C). - Número de cerdos (unidades). - Peso promedio por marrana (kg.). - Volumen de agua añadida por día (m<sup>3</sup>/día) - Producción del biogás (Nm<sup>3</sup>/día). - Potencia del motor del sistema de agitación (hp), - Área requerida (m<sup>2</sup>). - Área de geomembrana requerida (m<sup>2</sup>). - Diámetro de tuberías de extracción de biogás (mm). Masa de purines producidos al día (kg/día). - Volumen y dimensiones de la laguna del biodigestor (m<sup>3</sup> y m), - Volumen y dimensiones del tanque de alimentación (m<sup>3</sup> y m). - Volumen y dimensiones de la laguna para la descarga del biol (m<sup>3</sup> y m)</p>	<p><b><u>Población y muestra</u></b> Población: purines de cerdo de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC.</p> <p><b><u>Instrumentos</u></b> - Fichas bibliográficas. - Recolección de muestra y ensayos de laboratorio de los purines de los cerdos. - Checklist. - Cuestionario.</p>

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGIA
d). ¿Cómo validar el diseño de la planta de producción de biogás en la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral, mediante el programa BIODigestor – PRO versión 3.0?	d). Validar el diseño de la planta de producción de biogás en la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral mediante el programa Biodigestor-PRO versión 3.0.	d). El uso del programa BIODigestor – PRO versión 3.0 ayuda a corroborar los cálculos realizados para el diseño de la planta de producción de biogás en la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral.	<p>- Margen de error.</p> <p><b><u>Variable Dependiente:</u></b> Y: Energía térmica.</p> <p><b><u>Dimensiones:</u></b> - Consumo de energía térmica</p> <p><b><u>Indicadores:</u></b> - Masa de gas licuado de petróleo consumido por día (kg/día). - Energía térmica consumida por día (kWh/día) - Volumen de biogás equivalente al GLP consumido por día (Nm<sup>3</sup>/día)</p>	

## **Anexo B**

### **Árbol de problemas**



## **Anexo C**

### **Consentimiento informado**



**Declaración Simple**

Yo **PEDRO ALFONSO CASAS CHAPEYQUEN**, gerente de la empresa **CENTRO INDUSTRIAL Y COMERCIAL PORCINO S.A.C.** con número de Registro Único de Contribuyente (RUC) **20128451626** autorizo a los señores **Winer Hernán Zevallos Villayzán** y **Wilfredo Chate Mallqui**, bachilleres de la Universidad Nacional del Callao, para que puedan llevar a cabo su trabajo de tesis para la obtención de su título profesional de su casa de estudios, haciendo uso del nombre de la razón social y de los siguientes datos de mi empresa únicamente para los fines que persigue su tesis titulada "DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LOS PURINES DE CERDO PARA LA GENERACIÓN DE BIOGÁS EN LA EMPRESA CICOPSAC DE LA CIUDAD DE HUARAL", o posible modificatoria posterior que podría hacerse en el título del mismo:

1. Cantidad de animales porcinos de la granja.
2. Muestra de purines y su composición física-química.
3. Ubicación geográfica de la empresa y área donde se piensa instalar el biodigestor.
4. Layout de los corrales y zonas de consumo de energía térmica (plano de planta).
5. Consumo de energía térmica.
6. Consumo de agua para limpieza de los corrales.

En señal de conformidad, firmamos el presente documento las partes involucradas precitadas, siendo el día 15 de junio de 2021.

CENTRO INDUSTRIAL Y COMERCIAL  
PORCINO S.A.C.  
*Pedro Casas*  
D<sup>R</sup>: PEDRO CASAS CHAPEYQUEN  
Gerente Central  
RUC: 20128451626

Winer H. Zevallos Villayzán  
Bachiller  
DNI:

Wilfredo Chate Mallqui  
Bachiller  
DNI:

Oficina principal: Calle Alfa 199 Oficina 12 - Bellavista - Callao  
Teléfonos: 4511235 - 5624460 - 947533430  
Planta: Fundo la Quincha Mz 66 Lt A - San Martín de Retes - Huaral

## REPRESENTANTES LEGALES DE 20128451626 - CENTRO INDUSTRIAL Y COMERCIAL PORCINO SOCIEDAD ANÓNIMA CERRADA

Resultado de la Búsqueda

La información exhibida en esta consulta corresponde a lo declarado por el contribuyente ante la Administración Tributaria.

Documento	Nro. Documento	Nombre	Cargo	Fecha Desde
DNI	10799064	CASAS CHAPEYQUEN PEDRO ALFONSO	GERENTE GENERAL	08/03/1993

## **Anexo D**

# **Validación de instrumentos**

## **CUESTIONARIO PARA CONOCER EL INTERÉS Y LAS CARACTERÍSTICAS RELEVANTES PARA EL DISEÑO DE LA PLANTA DE BIOGÁS**

**Entrevistados:** Gerente y jefa de planta de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC (Pedro Casas y Magnolia, respectivamente)

**Fecha y hora:** 18 de junio de 13:00 – 15:30 horas

El fin de este cuestionario es conocer el estado actual de la empresa para considerar estos datos recogidos en el análisis y procesamiento de datos y aportar en los objetivos de la investigación titulada “Diseño de una planta de producción de biogás para el consumo de energía térmica de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral, año 2021”, así como conocer el interés por el desarrollo de esta investigación.

1. ¿Dónde se encuentra ubicada la empresa?  
Sector La Quincha s/n, Distrito de Huaral, Lima.
2. ¿Qué tipo de granja tiene las instalaciones de la empresa?  
La granja es de ciclo completo o cerrado.
3. ¿Cuál es la cantidad de cerdos criados en la granja para el desarrollo de la investigación?  
Actualmente la empresa cuenta con 600 cerdos.
4. ¿Cuenta con planos las instalaciones de la empresa?  
Sí, cuenta con un plano impreso para la identificación de peligros.
5. ¿Conoce la profundidad de la capa freática del territorio de la empresa?  
La profundidad es de 20 metros aproximados.
6. ¿De dónde se abastecen del agua para la limpieza de los corrales?  
El agua utilizada para la limpieza es de pozo.
7. ¿Dónde evacúan las aguas de limpieza de los corrales?  
Se evacúan mediante un canal a zonas agrícolas aledañas.
8. ¿Qué tipo de combustible consume en la actualidad?  
En la actualidad se usan 20 balones de GLP de 45 kg c/u por semana.
9. ¿Cuál es el uso y consumo del combustible?  
Para el área de sacrificio de animales se utilizan 6 balones/semana, para el área de maternidad 3 balones/semana y el área de recría 11 balones/semana.
10. ¿Cuál es la temperatura ambiente óptima del recinto de los lechones?  
Los lechones requieren 30 a 32 °C de preferencia. Luego se bajan 2 °C por semana hasta llegar a la temperatura ambiente.
11. ¿Cuentan con un equipo que garantice la continuidad de abastecimiento de energía?  
Contamos con grupo electrógeno de emergencia.
12. ¿Los encargados de la empresa conocen los beneficios del uso de un biodigestor?  
Sí, conocemos la utilidad y beneficio de sus instalaciones.

**Elaborado por:** Winer Hernán Zevallos Villayzán

**MATRIZ DE OBSERVACIÓN PARA DEFINIR EL DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS PARA LA EMPRESA CENTRO INDUSTRIAL Y COMERCIAL PORCINO SAC DE HUARAL**

**Lugar:** Sector La Quincha s/n, Distrito de Huaral, Lima

**Nombre de observador:** Winer Hernán Zevallos Villayzán

**Fecha y hora:** 18 de junio de 2021, de 9:00 a 12:00 horas

El fin de la elaboración de este checklist es determinar las condiciones habilitantes para desarrollar la investigación titulada “Diseño de una planta de producción de biogás para el consumo de energía térmica de la empresa Centro industrial y comercial porcino SAC de Huaral, año 2021”, a través de la evaluación del cumplimiento de criterios de observación.

<b>N o</b>	<b>Criterios de observación</b>	<b>S I</b>	<b>N O</b>
1	Existe espacio suficiente para instalar el biodigestor en la empresa	✓	
2	La empresa cuenta con equipos con alto consumo de energía	✓	
3	La temperatura ambiental de la empresa cumple el requisito de diseño para el biodigestor	✓	
4	Existe suficiente cantidad de purines en la empresa	✓	
5	Existe forma de disponer todos los purines sin contaminación		✓
6	La empresa cuenta con un tratamiento de sus purines que involucre un sistema de evacuación	✓	
7	La empresa cuenta con un registro del consumo de combustible	✓	
8	Se cuenta con planos de distribución de áreas o layout que permita identificar las áreas de la empresa y espacios disponibles	✓	
9	La empresa cuenta con registro del consumo de agua		✓
10	La empresa conoce la composición física-química de sus purines		✓

**INFORME DE OPINION DE JUICIO DE EXPERTOS DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACION**

**I. DATOS GENERAL:**

1.1. **Apellidos y Nombres (Juez):** MARTIN TORIBIO, SIHUAY FERNANDEZ

1.2. **Grado Académico:** Magister en Docencia Universitaria

1.3. **Profesión:** Ing. Mecánico

1.4. **Institución donde trabaja:** Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía. Escuela Profesional de Ingeniería en Energía de la Universidad Nacional del Callao

1.5. **Cargo que desempeña:** Docente

1.6. **Denominación del Instrumento:**

\* Lista de verificación

\* Guía de entrevista

1.7. **Apellidos y Nombres del autor del Instrumento:**

Winer H. Zevallos Villayzán

**II. VALIDACION DE JUICIO DE EXPERTO**

Criterio de evaluación	Descripción sobre las preguntas	Mu y malo	Ma lo	Regul ar	Bue no	Mu y buen o
		1	2	3	4	5
<b>Claridad</b>	Están formulados con lenguaje apropiado que facilita su comprensión.					X
<b>Actualidad</b>	Es adecuado al avance de la ciencia y tecnología y de la experiencia del tesista.					X
<b>Consistencia</b>	Existe una organización lógica en los contenidos de los ítems de los instrumentos.					X

<b>Coherencia</b>	Existe relación lógica entre el contenido de los criterios de evaluación de los instrumentos					X
<b>Pertinencia</b>	Son correctas y adecuadas para conocer el interés del personal de la empresa a entrevistar.					X
<b>Suficiencia</b>	Son suficientes la cantidad y calidad de ítems presentados en los instrumentos.				X	
SUMATORIA PARCIAL					4	2 5
SUMATORIA TOTAL						2 9

### III. RESULTADOS

3.1. Valoración Total: 29

3.2. Opinión:

Favorable:     X    

No Favorable:     

3.3. Observaciones:

Los instrumentos presentados son apropiados para el fin de conocer el interés y las características relevantes para el diseño de la planta de biogás de parte del gerente de la empresa y el jefe de planta de la empresa CENTRO INDUSTRIAL Y COMERCIO PORCINO SAC.

Bellavista, 18 de Agosto de 2021



Firma del Juez

Mg. Sihuay Fernández,  
Martin

DNI: 17988679  
CIP N° 96988

## **Anexo E**

# **Reportes de las cantidades de cerdos y guías de remisión de combustibles adquiridos**



# ENGORDE

# CICOPSAC



Población				
Stock 7 am	Ingreso	Salida	Mortal	Total
2192		239 4ch	4	2161

Fecha: 21.07.21 Día Pic: 194

Responsable:

### MOVIMIENTOS

Lote	Sexo	Pesos	Cliente
2	♀	23-25-65	} Roberto
2	♀	84-65-66	
2	♂	66	} Johnny
2	♂	91-89	
2	♂	90-94	} Aulis
2	♂	86	
2	♂	91	} L. Escobar
2	♂	95-91	
2	♂	84	} Johnny
4	♂	84	
3	♂	20-16 edn	} L. Escobar
3	♂	19-16 edn	
2	♀	87	} Johnny
2	♀	77-83	
2	♀	86	} Feiga
2	♂	79-79	
2	♂	88	Roño

### CONSUMO DE ALIMENTO

Alimento	Stock 7 am	Ingreso	Consumo	Nº Animales	Stock 5 pm
Acab Gjn	2400	6000	3300		5100
cr.1 gda	1800	2000	2000		1800

Lote	Corrales	Cantidad	F. Venta
02	274	06-07-21	
03	654	25-07-21	
04	728	15-08-21	
13	140	05-09-21	
14	38	12-09-21	
15	54	19-09-21	
16	123	26-09-21	
17	57	03-10-21	
18	93	10-10-21	
	2161		

### MORTALIDAD

Lote	Corral	Peso	Sexo	Observaciones
16	1			
17	1	17	♂	} L. Escobar
4	1	15	♀	
3	1	35	♂	caprillo

OBSERVACIONES .....

.....

.....





**ZETA GAS ANDINO S.A.**  
 Av. Néstor Gambeta Mz. Ml. Lote s/n Ex Fundo Oquendo  
 Prov. Const. del Callao - Prov. Const. del Callao - Callao.  
 Av. Mariscal Oscar R. Benavides N° 380 (Of. 201 antes Diagonal)  
 Miraflores - Lima - Lima.  
 Servicio al Cliente y Pedidos: 517 - 0707 Oficina: 614 - 0707.  
 Calle Julio C. Tello s/n Huaral - Huaral  
 Lima.

Registro M.T.C. N° 152033 CNG  
**R.U.C. 20262254268**

**GUIA REMISION REMITENTE**  
**0221- N° 056508**

FECHA DE EMISION: 16-07-21      FECHA DE TRASLADO: 16-07-21

DOMICILIO DE PARTIDA: Calle Julio C. Tello s/n Huaral  
 DOMICILIO DE LLEGADA: La Quincha Mz. 66 U.A. - pred. La Quincha (ex Hacienda Retes)

DESTINATARIO: Señor (es) Centro Industrial y Comercial Porcino S.A.C. R.U.C. 20128751626  
 Su orden N° 0001-00000338      N° Ref

UNIDAD DE TRANSPORTE/CONDUCTOR: VEHICULO MARCA Y PLACA N° F9N-911  
 CERTIFICADO DE INSCRIPCIÓN N°  
 LICENCIA DE CONDUCIR N° J-46110395

CODIGO	DESCRIPCION	UND. DE MEDIDA	CANT.	PESO	COSTO MIN. DEL TRASLADO
	Carga de 10 kls. de G.L.P.				
	Carga de 45 Kls de G.L.P.		20		
	Galones de G.L.P.				

TRANSPORTISTA: ZETA GAS ANDINO S.A. R.U.C. 20262254268  
 MOTIVO DEL TRASLADO: 1. VENTA, 2. VENTA SUJETA A CONFIRMACION DEL COMPRADOR, 3. COMPRA, 4. CONSIGNACION, 5. DEVOLUCION, 6. TRASLADO ENTRE ESTABLECIMIENTOS DE UNA MISMA EMPRESA, 7. TRASLADO POR EMISOR ITINERANTE DE COMPROBANTE DE PAGO.  8. IMPORTACION,  9. EXPORTACION,  10. OTROS,  A) EXHIBICION,  B) DEMOSTRACION,  C)

COMPROBANTE DE PAGO: TIPO N°  
 RECLAMOS Y/O QUEJAS : 517 - 0707.

DESTINATARIO: *[Firma]*

**ZETA GAS ANDINO S.A.**  
 Av. Néstor Gambeta Mz. Ml. Lote s/n Ex Fundo Oquendo  
 Prov. Const. del Callao - Prov. Const. del Callao - Callao.  
 Av. Mariscal Oscar R. Benavides N° 380 (Of. 201 antes Diagonal)  
 Miraflores - Lima - Lima.  
 Servicio al Cliente y Pedidos: 517 - 0707 Oficina: 614 - 0707.  
 Calle Julio C. Tello s/n Huaral - Huaral - Lima

Registro M.T.C. N° 152033 CNG  
**R.U.C. 20262254268**

**GUIA REMISION REMITENTE**  
**0221- N° 053642**

FECHA DE EMISION: 28-11-20      FECHA DE TRASLADO: 28-11-20

DOMICILIO DE PARTIDA: Calle Julio C. Tello s/n Huaral  
 DOMICILIO DE LLEGADA: La Quincha Mz. 66 U.A. - pred. La Quincha (ex Hacienda Retes)

DESTINATARIO: Señor (es) Centro Industrial y Comercial Porcino S.A.C. R.U.C. 20128751626  
 Su orden N°      N° Ref

UNIDAD DE TRANSPORTE/CONDUCTOR: VEHICULO MARCA Y PLACA N° F9N-911  
 CERTIFICADO DE INSCRIPCIÓN N°  
 LICENCIA DE CONDUCIR N° J-46110395

CODIGO	DESCRIPCION	UND. DE MEDIDA	CANT.	PESO	COSTO MIN. DEL TRASLADO
	Carga de 10 kls. de G.L.P.				
	Carga de 45 Kls. de G.L.P. (custodia)		16		
	Galones de G.L.P.				

TRANSPORTISTA: ZETA GAS ANDINO S.A. R.U.C. 20262254268  
 MOTIVO DEL TRASLADO: 1. VENTA, 2. VENTA SUJETA A CONFIRMACION DEL COMPRADOR, 3. COMPRA, 4. CONSIGNACION, 5. DEVOLUCION, 6. TRASLADO ENTRE ESTABLECIMIENTOS DE UNA MISMA EMPRESA, 7. TRASLADO POR EMISOR ITINERANTE DE COMPROBANTE DE PAGO.  8. IMPORTACION,  9. EXPORTACION,  10. OTROS,  A) EXHIBICION,  B) DEMOSTRACION,  C)

COMPROBANTE DE PAGO: TIPO N°  
 RECLAMOS Y/O QUEJAS : 517 - 0707.

DESTINATARIO: *[Firma]*



**CENTRO INDUSTRIAL Y  
COMERCIAL PORCINO S.A.C.**

LA QUINCHA FND. FUNDO LA QUINCHA (EX HACIENDA RETES)  
MANZANA: 86 LOTE: A  
HUARAL - HUARAL - LIMA  
4511235  
www.cicopsac.com administrador@cicopsac.com

RUC: 20128451626  
ORDEN DE COMPRA  
Nro. 0001-00000353

Fecha Emisión	20/07/2021	Moneda	Soles	Tipo Cambio	3.93900
Proveedor	ZETA GAS ANDINO S.A.				
Proyecto	-				
Lugar Entrega	GRANJA LA QUINCHA - FND. FUNDO LA QUINCHA (EX HACIENDA RETES) MANZANA: 86 LOTE: A - LIMA - HUARAL - HUARAL				
Condición Pago	CREDITO 30 DIAS	Dias Entrega	2	Fecha Entrega	22/07/2021
Referencia					
Observación					

Orden	Código	Descripción	UM	Cantidad	Precio Unitario	Sub Total	IGV	Total
1		ZETA GAS	BALON	20.00	157.50000	3150.00	567.00	3717.00
						3,150.00	567.00	3,717.00

ELABORADO POR: LEONEL MARTIN ROSALES CARRILLO

APROBADO POR:

**CONDICIÓN:**

El pedido se surtirá en la fecha de entrega indicada en el recuadro de esta orden de compra, si el producto no esta en el almacén en la fecha pactada por ambas partes, por causas imputables al proveedor, se le aplicará una pena moratoria correspondiente al 5% del monto total de la factura por día, hasta la entrega. Agradecería se sirvan emitir certificado de calidad y ficha técnica por pedido por favor enviar una copia de la orden de compra. Registrar este pedido de acuerdo a los precios, términos, modo de envío y especificaciones citadas. No se pagarán gastos de envase, embarque o transporte a menos que hayan sido previamente convenido por escrito. Notificar inmediatamente en caso de que este pedido no se pueda entregar de la manera ya citada.

# **Anexo F**

## **Licencia y reporte de software**

Winer Hernán Zevallos Villayzán <[winer.zevallos@gmail.com](mailto:winer.zevallos@gmail.com)>**Su pedido en [www.aqualimpia.com](http://www.aqualimpia.com): Información de producto/suscripción**2Checkout / AquaLimpia <[no-reply@2checkout.com](mailto:no-reply@2checkout.com)>  
Para: [winer.zevallos@gmail.com](mailto:winer.zevallos@gmail.com)

6 de noviembre de 2020, 10:12



Estimado/a Winer Hernán Zevallos Villayzán:

Gracias por su compra en <http://www.aqualimpia.com>.

Encontrará debajo la información del pedido [REDACTED] de 2020-11-06.

**Software Biodigestor Pro - Cantidad: 1**

Nombre: Winer Hernán Zevallos Villayzán

Correo electrónico: [winer.zevallos@gmail.com](mailto:winer.zevallos@gmail.com)Enlace de descarga: <https://secure.avangate.com/?sid=eb193hvjep&dld>[Descargue su producto](#)**Clave(s) de producto / suscripción**

[REDACTED]

Este es el serial para autorizar el manual "Dimensionamiento y diseño de biodigestores y plantas de biogas". Leer las instrucciones para la descarga del manual y del software. Después de haber instalado el software, genera los seriales que los debe enviar a [aqua@aqualimpia.com](mailto:aqua@aqualimpia.com) para que se le envíe un parche para que pueda ejecutar el programa.

**Información de soporte técnico**

¿Necesita soporte técnico? Para la instalación del producto, activación y otros temas de soporte técnico, por favor contacte con AquaLimpia en - o [aqua@aqualimpia.de](mailto:aqua@aqualimpia.de)

2Checkout ha procesado su pedido como revendedor autorizado de AquaLimpia.

<https://mail.google.com/mail/u/0?ik=e8de56aac2&view=pt&search=all&permmsgid=msg-f%3A1682624246361396775&simpl=msg-f%3A16826242463...> 1/2

Muchas gracias,  
El equipo de 2Checkout  
[www.2co.com](http://www.2co.com)

<https://mail.google.com/mail/u/0?ik=e8de56aac2&view=pt&search=all&permmsgid=msg-f%3A1682624246361396775&simpl=msg-f%3A16826242463...> 2/2

# DIMENSIONAMIENTO Y DISEÑO DE BIODIGESTORES Y PLANTAS DE BIOGÁS

## Datos básicos de diseño

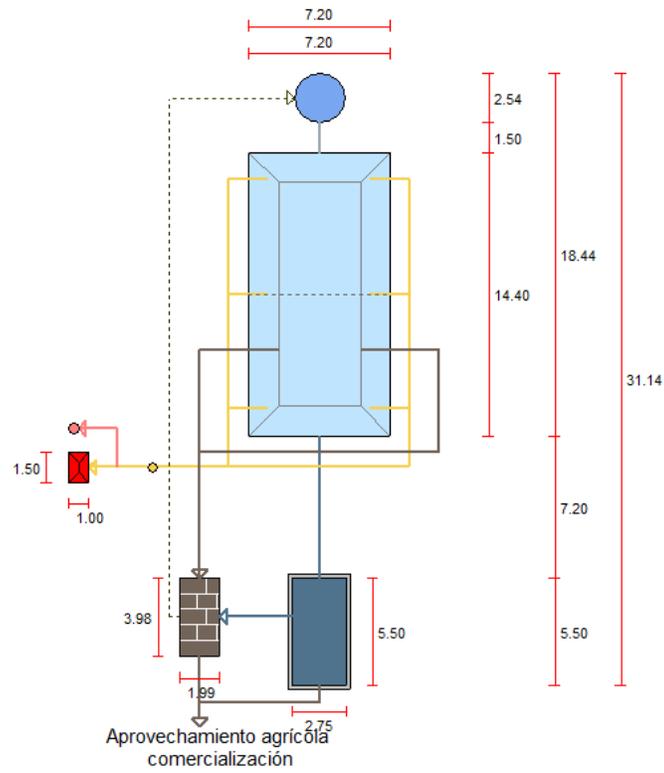
Tabla 1: Ubicación del proyecto	
Nombre del proyecto:	Proyecto tesis UNAC
Ubicación:	Lima
País:	Perú
Fecha:	19/07/2021

Tabla 2; Datos hidrológicos		
Temperatura mínima	12	( ° C )
Temperatura media	19	( ° C )
Temperatura máxima	32	( ° C )

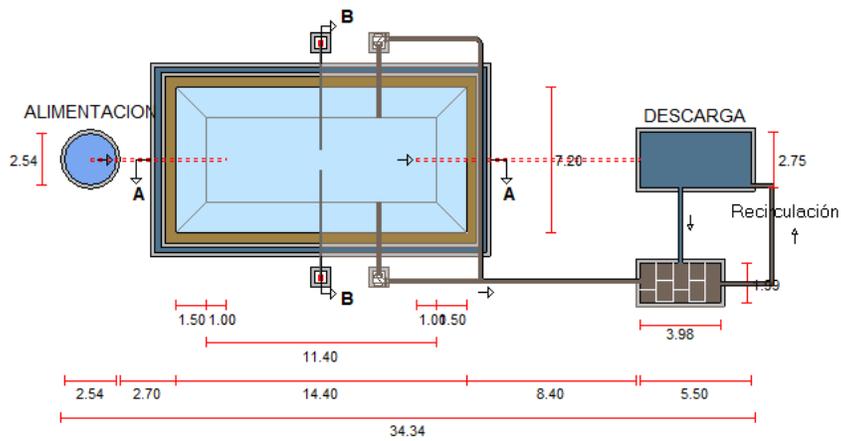
Tabla 3: Resumen de sustrato para la alimentación del biodigestor				
Nº	Animal	PE ( t/ d )	MS ( Kg./d )	MV (Kg./d)
1	CERDOS	2,38	605,80	533,11
2				
3				
4				
5				
	Subtotal	2,38	605,80	533,11
Nº	Biomasa	BM ( t/ d )	MS ( Kg./d )	MV (Kg./d)
1				
2				
3				
4				
5				
	Subtotal	0,00	0,00	0,00
Nº	Aguas residuales	Q (m3/día)		DQO(Kg./d)
1				
2				
	Subtotal	0,00	-	0,00
<b>Totales</b>		2,38	605,80	533,11

# Implantación de biodigestores

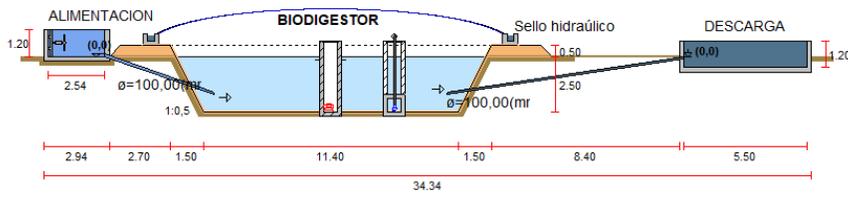
## IMPLANTACION PLANTA DE BIOGAS



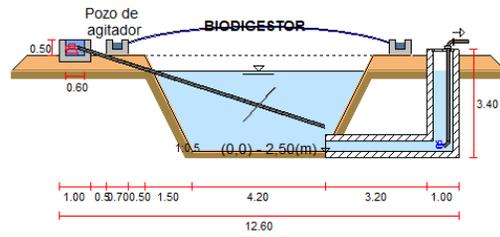
## ESQUEMA DE ALIMENTACION Y DESCARGA



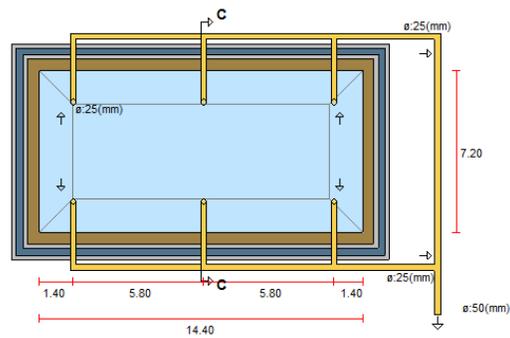
**CORTE A-A ( Tuberías de alimentación y descarga )**



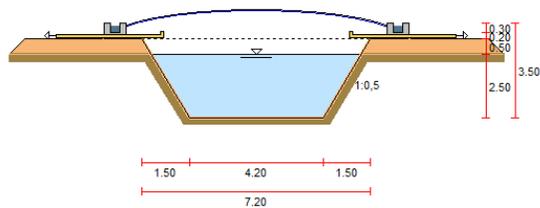
**CORTE B-B ( Sistema de agitación )**



**CAPTACION DE BIOGAS**



**CORTE C - C ( Captación de biogas )**



## Dimensionamiento de estructuras

Tabla 4. Biodigestores		
Unidades requeridas:	1	
Tipo:		
Material:		
Volumen total requerido:	211	(m3)
Volumen de cada unidad:	211	(m3)
	14,40	(m)
	7,20	(m)
	3,00	

Tabla 5: Datos hidráulicos biodigestor		
Tiempo de retención hidráulica:	29	(días)
Carga orgánica volumétrica:	2,53	( kg./m3.d )

Tabla 6; Tanque de alimentación		
Forma:		
Volumen:	6,06	(m3)
Largo:	2,54	(m)
Ancho:	2,54	(m)
Profundidad:	1,20	(m)

Tabla 7: Tanque de descarga		
Volumen:	18,18	(m3)
Largo:	5,50	(m)
Ancho:	2,75	(m)
Profundidad:	1,20	(m)

Tabla 8: Lecho de secado		
Área:		(m2)
Largo:		(m)
Ancho:		(m)

## Producción de biogás, energía y equivalencias energéticas

Tabla 9: Producción de biogás y energía		
	m3 (día)	m3 (año)
producción de biogás:	198,43	72.427
Producción de metano:	128,98	47.078

Tabla 10: Equivalencias CO2		
Toneladas equivalentes CO2:	693,00	(t.CO2/año)
Potencia a instalar:	16	(kWel)
Potencia calorífica:	30	(kW)
Producción de electricidad:	139.248	(kWh/año)

Tabla 11: Producción específica biogás (Nm3)		
Por m3 de biodigestor	0,94	(m3/día)
Por m3 de biomasa	83,37	(m3/m3)
Por Kg. masa seca	0,33	(m3/kg.MS)
Por Kg. masa volátil	0,37	(m3/kg.MV)

Tabla 12: Producción específica CH4 (Nm3)		
Por m3 de biodigestor	0,61	(m3/día)
Por m3 de biomasa	54,19	(m3/m3)
Por Kg. masa seca	0,21	(m3/kg.MS)
Por Kg. masa volátil	0,24	(m3/kg.MV)

Tabla 13: Equivalencias energéticas biogás		
	(Por día)	(Por año)
Biogás (Nm3)	198	72.427
BTU	4.554.929	1.662.548.976
Mega Joule	4.806	1.754.082
M.cal	1.148	418.956
MWhe	0	139
HP.h	1.793	654.547
BHP	136	49.665
Ton TNT	1	420

Tabla 14: Producción de fertilizante orgánico		
	(kg./día)	(t/año)
Producción de lodo seco	316,05	115
Producción de Biol.	5.501	2.008
Volumen total de fertilizante orgánico	5.817	2.123

## Presupuesto:

Resumen estructuras							
Descripción	Cantidad	Diametro(m)	Altura(m)	Largo(m)	Ancho(m)	Vol. unit. (m3)	Vol. total (m3)
Tanques de alimentación	1	2,54	1,20	-	-	6,06	6,06
Biodigestores	1	-	3,00	7,20	14,40	211	211,00
Tanque de descarga	1	-	1,20	5,50	2,75	18,18	18,18
Lecho de secado de lodos	1	-	0,50	3,98	1,99	3,96	(m2)

Características equipo electromecánico			
Descripción	Cantidad	Capacidad	Unidades
Filtro de remoción H2S	1	8	(m3/h)
Generador	1	16	(kW)
Quemador de biogás	1	8	(m3/h)
Agitadores por biodigestor	2	2,1	(kW)
Sistema de calefacción	1	3,0	(kW)
Mezclador tanque alimentación	1	0,5	(kW)

Presupuesto biodigestor tipo laguna				
Descripción	Unidades	Cantidad	Pr.U.\$	\$
Excavación y construcción de rasante	m3	236	10	2.360
Hormigón armado	m3	28	250	7.000
Acero de refuerzo para hormigón	kg	1.680	3	5.040
Encofrado	m2	86	25	2.150
Enlucido	m2	125	20	2.500
Membrana EPDM para cubierta	m2	130	20	2.600
Geomembrana HDPE para fondo de laguna	m2	188	15	2.820
Tuberías de PE alimentación y descarga	m	24	32	768
Tuberías de acero captación biogas	m	86	35	3.010
Accesorios para tuberías (incluye valvulas de cierre)	global	12	35	420
Bombas de succión de lodos	unidad	2	3.000	6.000
Agitadores biodigestor	unidad	2	12.000	24.000
Pernos y anclajes para sujetar la membrana	m	43	15	648
Válvulas de seguridad y control	global	1	1.500	1.500
Sistema de calefacción	global	1	8.000	8.000
Sistema de control de procesos	global	1	5.000	5.000
Instalaciones eléctricas y tableros	global	1	9.000	9.000
Exteriores (tuberías, cajas de válvulas, arquetas, etc.)	(%)	2,0	-	1.656
Costos aproximados de construcción 1 biodigestor			\$	84.472
Costos de biodigestor por m3 de volumen			\$ /m3	400

Presupuesto tanque de alimentación y mezcla				
Descripción	Unidades	Cantidad	Pr.U.\$	\$
Excavación	m3	9	10	90
Hormigón armado	m3	3	250	750
Acero de refuerzo para hormigón	m3	180	3	540
Encofrado	kg	22	25	550
Enlucido	m2	24	20	480
Mezclador tanque de alimentación	unidad	1	4.000	4.000
Costos estimados de construcción			\$	6.410

Presupuesto tanque de descarga				
Descripción	Unidades	Cantidad	Pr.U.\$	\$
Excavación	m3	20	10	200
Geomembrana HDPE	m2	52	15	780
Bombas extracción lodos del fondo	unidad	1	3.000	3.000
Costos estimados de construcción			\$	3.980

Presupuesto lecho de secado de lodos				
Descripción	Unidades	Cantidad	Pr.U.\$	\$
Excavación	m3	5	10	50
Ladrillo muros	m3	1	35	35
Tuberías de drenaje	m3	1	15	15
Grava para filtro	m3	2	50	100
Arena para filtro	m3	1	45	45
Ladrillo sobrepuesto filtro	m3	1	35	35
Tuberías de alimentación	m	6	32	192
Bombas y/o sistema de recirculación	unidad	1	3.000	3.000
Costos estimados de construcción			\$	3.472

Presupuesto estimado de construcción toda la planta de biogas				
Descripción	Unidades	Cantidad	Pr.U.\$	\$
Tanque de alimentación	unidad	1	6.410	6.410
Biodigestor	unidad	1	84.472	84.472
Tanque de descarga	unidad	1	3.980	3.980
Lecho de secado de lodos	unidad	1	3.472	3.472
Filtro de remoción de H2S: 8 (m3/h)	unidad	1	18.000	18.000
Quemador de biogas: 8 (m3/h)	unidad	1	5.000	5.000
Generador: 16 (kW)	unidad	1	32.000	32.000
Exteriores (jardinería, accesos, seguridades, etc.)	global	2,0	-	3.067
Costos estimados de construcción			\$	156.401
Costo por kW instalado			\$ /kW	9.775

## Análisis costo-beneficio:

Análisis costo-beneficio planta de biogás (Datos básicos)		
Potencia instalada generador	16	(kW)
Generación de energía eléctrica	139.248	kWh/año)
Costos de inversión		\$
Digestores, tanques de alimentación y descarga		37.901
Equipo electromecánico		63.500
Filtro de remoción de H <sub>2</sub> S: 8 (m <sup>3</sup> /h)		18.000
Generador: 16 (kW)		32.000
Quemador de biogás: 8 (m <sup>3</sup> /h)		5.000
Costo total del proyecto	\$	156.401

Egresos anuales			
Costos de depreciación	\$	Depr. %	\$(año)
Digestores, tanques de alimentación y descarga	37.901	5,00	1.895
Equipo electromecánico	63.500	15,00	9.525
Filtro de remoción H <sub>2</sub> S	18.000	10,00	1.800
Generador	32.000	15,00	4.800
Quemador de biogás	5.000	10,00	500
Suma de costos por depreciación	\$		18.520
Costos por operación y mantenimiento	\$	R&M %	\$(año)
Digestores, tanques de alimentación y descarga	37.901	3,00	1.137
Equipo electromecánico	63.500	6,00	3.810
Filtro de remoción de H <sub>2</sub> S: 8 (m <sup>3</sup> /h)	18.000	5,00	900
Generador: 16 (kW)	32.000	10,00	3.200
Quemador de biogás: 8 (m <sup>3</sup> /h)	5.000	5,00	250
Suma de costos por reparaciones y mantenimiento	\$		9.297

Cont. egresos anuales			
Costos de personal (operarios)			\$/año
Sueldos y salarios			15000
Cargas sociales	(%)	50,00	7.500,0
Suma costos de personal			\$ 22.500
Costos de biomasa			\$/año
Compra de biomasa			0,00
Adecuación - acondicionamiento	(%)	50	0
Suma de costos de biomasa			\$ 0
Otros costos		\$/año	\$/año
Financieros - intereses		10,00	15.640
Imprevistos		1,00	1.564
Costos de conexión a la red (venta de energía eléctrica)		2,00	3.128
Seguros		2,00	3.128
Suma de otros costos			\$ 23.460

Ingresos anuales			
Energía eléctrica	kWh/año	\$/kWh	\$/año
Venta de energía eléctrica	139.248	0,10	13.925
Fertilizante	t/año	\$/t	\$/año
Comercialización bioabono - fertilizante orgánico	2.123	20,00	42.460
Bonos de carbono CERS	tCO2/año	\$/t	\$/año
Comercialización de bonos de carbono CERS	693	11,00	7.623
Suma total de ingresos anuales			\$ 64.008

Resumen de egresos	
Costos de depreciación	18.520
Costos por operación y mantenimiento	10.385
Costos de personal (operarios)	22.500
Costos de biomasa	0
Otros costos	23.460
Suma de egresos	\$ 74.865
Resumen de ingresos	
Energía eléctrica	13.925
Fertilizante	42.460
Bonos de carbono CERS	7.623
Suma de ingresos	\$ 64.008
Rendimiento anual: Ingresos - Egresos	\$ -10.857
Tasa interna de retorno (TIR)	-0,07

## **Anexo G**

### **Reporte de la temperatura ambiente de la zona**

**ESTACIÓN LOMAS DE LACHAY**

AÑO	MES	DÍA	T. MAX	T. MIN	2017	2	14	28,6	19,4
2017	1	1	27,9	18,4	2017	2	15	28,8	19,6
2017	1	2	28,4	17,2	2017	2	16	27,6	19,2
2017	1	3	26,4	17	2017	2	17	26,5	19,5
2017	1	4	29	18,8	2017	2	18	27	19,4
2017	1	5	30,2	19,6	2017	2	19	28	20
2017	1	6	26,4	18,6	2017	2	20	29,5	19,8
2017	1	7	26,2	18,2	2017	2	21	28,6	18
2017	1	8	26,5	18	2017	2	22	27,8	19
2017	1	9	26	17,3	2017	2	23	28,3	19,6
2017	1	10	25,4	16,4	2017	2	24	30	20
2017	1	11	25,6	16,5	2017	2	25	28	17,5
2017	1	12	27,5	16,8	2017	2	26	28,2	17
2017	1	13	27,2	17,5	2017	2	27	26,8	17,4
2017	1	14	29,2	19	2017	2	28	28,8	19,3
2017	1	15	26	17,3	2017	2	29	30	19,8
2017	1	16	28,8	19,4	2017	3	1	30,8	20,6
2017	1	17	27,4	19	2017	3	2	27,2	18,4
2017	1	18	28	18,8	2017	3	3	26,4	17,2
2017	1	19	27,8	18,9	2017	3	4	26	17
2017	1	20	27,6	19,7	2017	3	5	26,7	19
2017	1	21	28,4	19	2017	3	6	26,5	18,8
2017	1	22	28	18	2017	3	7	29,2	19,2
2017	1	23	27,8	19,6	2017	3	8	28,4	18,9
2017	1	24	27,2	17,9	2017	3	9	26,8	19,3
2017	1	25	27,9	20	2017	3	10	27,8	19,5
2017	1	26	28,2	18,4	2017	3	11	28,2	19,2
2017	1	27	26,2	17	2017	3	12	28	19
2017	1	28	27,8	16,8	2017	3	13	27,8	19,1
2017	1	29	25,7	17,2	2017	3	14	29,8	19,2
2017	1	30	30,4	17,8	2017	3	15	26,8	18,9
2017	1	31	29	18	2017	3	16	27	18,7
2017	2	1	29,5	19,5	2017	3	17	29,7	19
2017	2	2	28,8	19,3	2017	3	18	23,8	18
2017	2	3	28,6	18	2017	3	19	30	18,8
2017	2	4	30,3	18,8	2017	3	20	30,9	19,5
2017	2	5	28,2	18,2	2017	3	21	29,4	20,6
2017	2	6	27	18,5	2017	3	22	31,2	20,4
2017	2	7	25,8	18,4	2017	3	23	29,5	19,8
2017	2	8	28	19,3	2017	3	24	26,4	18,2
2017	2	9	28,8	19,5	2017	3	25	25,8	18
2017	2	10	27,9	19,7	2017	3	26	28,5	17,8
2017	2	11	27	19	2017	3	27	27	19,2
2017	2	12	29,2	19,5	2017	3	28	27,9	19
2017	2	13	28,4	19,8	2017	3	29	28,7	19,6

2017	3	30	28,4	18,7	2017	5	15	24,2	15,2
2017	3	31	25,8	16,4	2017	5	16	23	15
2017	4	1	25	16	2017	5	17	20	15,3
2017	4	2	27,8	15,8	2017	5	18	21,4	15,2
2017	4	3	28,8	18,2	2017	5	19	20	15,3
2017	4	4	28,4	19	2017	5	20	19	15,1
2017	4	5	30,8	18,2	2017	5	21	17,4	15
2017	4	6	30,2	19,2	2017	5	22	19,9	15,4
2017	4	7	27,2	18	2017	5	23	22	15,2
2017	4	8	24,8	17,5	2017	5	24	21,3	15,3
2017	4	9	28,6	19	2017	5	25	21	15,1
2017	4	10	28,5	19,5	2017	5	26	17	15
2017	4	11	27,8	18,6	2017	5	27	18	14,8
2017	4	12	30,5	19,8	2017	5	28	21,8	15
2017	4	13	28,7	19,2	2017	5	29	23,6	15,3
2017	4	14	26,2	18	2017	5	30	21,4	15,2
2017	4	15	28	16,8	2017	5	31	18	15,6
2017	4	16	27,4	17,2	2017	6	1	20,3	15,9
2017	4	17	25,4	16,7	2017	6	2	22,8	16,2
2017	4	18	25,8	17,6	2017	6	3	16,8	15,6
2017	4	19	25,2	17,2	2017	6	4	17,2	15,3
2017	4	20	28,8	17,8	2017	6	5	18	15,1
2017	4	21	29,3	18	2017	6	6	19	15,2
2017	4	22	28	19,6	2017	6	7	19,7	15,6
2017	4	23	25,8	18,8	2017	6	8	22,6	15,1
2017	4	24	27	17	2017	6	9	23,8	16,3
2017	4	25	26,8	16,5	2017	6	10	22	15,3
2017	4	26	26,6	16,8	2017	6	11	23	15,2
2017	4	27	25,3	16	2017	6	12	21,6	15,4
2017	4	28	27	16,2	2017	6	13	20,6	15,3
2017	4	29	26,4	16,6	2017	6	14	21,8	15,4
2017	4	30	26,7	17	2017	6	15	22,6	15,7
2017	5	1	24,8	16,1	2017	6	16	18,2	15,4
2017	5	2	26,2	16	2017	6	17	21,8	15,5
2017	5	3	27,8	17,6	2017	6	18	17,3	15,6
2017	5	4	24,6	17,2	2017	6	19	21,7	15,2
2017	5	5	23	16	2017	6	20	18,8	15,3
2017	5	6	23,6	15,8	2017	6	21	16,2	15,4
2017	5	7	24	15,9	2017	6	22	17,2	14,9
2017	5	8	26,2	15,6	2017	6	23	20,8	14,6
2017	5	9	25,5	16,2	2017	6	24	21,2	14,8
2017	5	10	23	16	2017	6	25	21,8	14,4
2017	5	11	24,2	15,5	2017	6	26	22,8	15,8
2017	5	12	26,2	16,8	2017	6	27	17,6	15,2
2017	5	13	26	16,3	2017	6	28	16,2	15,3
2017	5	14	23,6	16,9	2017	6	29	17	15,1

2017	6	30	18,7	15	2017	8	15	14,3	12,9
2017	7	1	17,3	15,2	2017	8	16	14,2	12,8
2017	7	2	20,4	15	2017	8	17	18,5	12,6
2017	7	3	17,3	14,9	2017	8	18	14,7	13,5
2017	7	4	17	14,8	2017	8	19	14,2	12,9
2017	7	5	18,3	15	2017	8	20	13,8	12,6
2017	7	6	18,1	14,9	2017	8	21	14,4	12,4
2017	7	7	18,2	15,1	2017	8	22	14,5	12,2
2017	7	8	15,7	14,8	2017	8	23	13,2	12
2017	7	9	18	14,6	2017	8	24	14,1	11,9
2017	7	10	19,8	15	2017	8	25	16	12,1
2017	7	11	18,4	15,1	2017	8	26	14,8	12
2017	7	12	16,8	15	2017	8	27	14,3	12,3
2017	7	13	22,2	15,2	2017	8	28	14,2	12,5
2017	7	14	17	15,6	2017	8	29	18,2	12,6
2017	7	15	16,3	15,3	2017	8	30	14,4	12,7
2017	7	16	16,6	15	2017	8	31	14,2	12,5
2017	7	17	18,6	14,9	2017	9	1	14,3	12,4
2017	7	18	16,9	15,1	2017	9	2	18,8	12,3
2017	7	19	19,2	15	2017	9	3	18,2	12,6
2017	7	20	20,2	14,9	2017	9	4	14,4	12,8
2017	7	21	19,3	15,2	2017	9	5	15,7	13
2017	7	22	20	14,8	2017	9	6	16,9	13,1
2017	7	23	19	14,7	2017	9	7	15	13,2
2017	7	24	17,9	14,6	2017	9	8	17	13,4
2017	7	25	17	14	2017	9	9	16,6	13,2
2017	7	26	18,6	14,5	2017	9	10	15,6	13,3
2017	7	27	20	14,4	2017	9	11	15,9	12,9
2017	7	28	19,8	14,7	2017	9	12	15,3	13,1
2017	7	29	16	14,3	2017	9	13	18,6	13,3
2017	7	30	20,4	14,5	2017	9	14	15	13,2
2017	7	31	15,4	14,4	2017	9	15	15,2	13,5
2017	8	1	14,4	13,7	2017	9	16	14,5	13,4
2017	8	2	14	13,6	2017	9	17	14,8	13,6
2017	8	3	13,9	13,4	2017	9	18	19	13,3
2017	8	4	14,2	13,2	2017	9	19	16,5	13,4
2017	8	5	15	13,3	2017	9	20	17,6	13,2
2017	8	6	14,1	13,2	2017	9	21	15,2	13,3
2017	8	7	17,2	12,7	2017	9	22	16,8	13
2017	8	8	14,6	13,1	2017	9	23	17,1	13,1
2017	8	9	15	12,6	2017	9	24	15,5	13,2
2017	8	10	14,4	12,7	2017	9	25	17,4	13,4
2017	8	11	13,4	12,8	2017	9	26	16	13,5
2017	8	12	15,7	12,9	2017	9	27	14,4	13,4
2017	8	13	16	12,7	2017	9	28	14,5	13,3
2017	8	14	15,8	12,8	2017	9	29	14,8	13,1

2017	9	30	19,5	13,4	2017	11	15	23	13,8
2017	10	1	17,2	13,5	2017	11	16	22,3	14,4
2017	10	2	16,6	13,3	2017	11	17	22	14,6
2017	10	3	16	13,1	2017	11	18	19	14,8
2017	10	4	14,8	13,2	2017	11	19	18	14,5
2017	10	5	14,4	13	2017	11	20	21	14,8
2017	10	6	15	13,1	2017	11	21	17,5	14,6
2017	10	7	15,3	13,3	2017	11	22	17,2	14,4
2017	10	8	16	13,2	2017	11	23	22	14,8
2017	10	9	17	13	2017	11	24	23	14,4
2017	10	10	16,8	13,1	2017	11	25	21,2	14,3
2017	10	11	18,8	13,3	2017	11	26	22,3	14,1
2017	10	12	15,2	13,4	2017	11	27	22,7	14,2
2017	10	13	15	13,5	2017	11	28	22	14,4
2017	10	14	14,5	13,1	2017	11	29	23,8	14,1
2017	10	15	19	12,9	2017	11	30	24	13,8
2017	10	16	19,3	13,3	2017	12	1	24,2	14,2
2017	10	17	16	13,2	2017	12	2	24,5	14,5
2017	10	18	20,2	13,4	2017	12	3	23	14,3
2017	10	19	18	13,2	2017	12	4	16,4	15
2017	10	20	17	13,1	2017	12	5	17,5	15,2
2017	10	21	15,4	13	2017	12	6	18	15,3
2017	10	22	16	13,3	2017	12	7	24	15,8
2017	10	23	16,4	13,4	2017	12	8	24,3	16
2017	10	24	18,6	13,6	2017	12	9	21	15,9
2017	10	25	19,8	13,7	2017	12	10	18,6	15,7
2017	10	26	21,6	13,5	2017	12	11	24,2	16,4
2017	10	27	23	15	2017	12	12	24	15
2017	10	28	16	14,5	2017	12	13	25,8	15,8
2017	10	29	15,3	13,9	2017	12	14	26	16
2017	10	30	20	14,2	2017	12	15	24,8	16,3
2017	10	31	20,8	13,6	2017	12	16	25,6	16,6
2017	11	1	21,3	13,8	2017	12	17	24,5	16,5
2017	11	2	17,9	13,6	2017	12	18	21,2	16,8
2017	11	3	16	13,7	2017	12	19	22,4	16,7
2017	11	4	16,8	13,8	2017	12	20	23,8	16,8
2017	11	5	20,3	13,6	2017	12	21	22	16,6
2017	11	6	18,6	14	2017	12	22	21	16
2017	11	7	20,4	14,1	2017	12	23	22,2	16,2
2017	11	8	16,2	14,2	2017	12	24	18,2	16,5
2017	11	9	17,6	14	2017	12	25	20,4	16,8
2017	11	10	17,8	14,4	2017	12	26	25,5	17
2017	11	11	18	14,6	2017	12	27	26,8	16,9
2017	11	12	20	14,5	2017	12	28	25	16,4
2017	11	13	19,6	14	2017	12	29	26	16,2
2017	11	14	19,2	14,2	2017	12	30	26,4	16,3

AÑO	MES	DÍA	T. MAX	T. MIN					
2018	1	1	25,5	17,4	2018	2	15	28,3	20,8
2018	1	2	24,2	17,2	2018	2	16	29,8	19,2
2018	1	3	26,6	17	2018	2	17	27	18,2
2018	1	4	27,8	16,6	2018	2	18	28	19
2018	1	5	26,8	16,4	2018	2	19	28,2	18,2
2018	1	6	25,4	16,2	2018	2	20	27,9	17,6
2018	1	7	24,5	16,7	2018	2	21	27,2	17,2
2018	1	8	27	16,8	2018	2	22	28,8	19,2
2018	1	9	26,2	16,6	2018	2	23	28,2	19,8
2018	1	10	25,5	17,2	2018	2	24	27,2	19,4
2018	1	11	26	17,5	2018	2	25	28,2	19,5
2018	1	12	25,8	17,8	2018	2	26	29,8	20
2018	1	13	26,5	18	2018	2	27	29	19,9
2018	1	14	28,5	18,5	2018	2	28	27,4	19
2018	1	15	26,5	18,7	2018	3	1	27,2	19,1
2018	1	16	25	18,4	2018	3	2	29,3	20
2018	1	17	26,7	18,3	2018	3	3	31	22
2018	1	18	28,5	19,2	2018	3	4	29,8	20,8
2018	1	19	25,5	17,2	2018	3	5	28,8	20,2
2018	1	20	27	17,5	2018	3	6	28,6	20
2018	1	21	26,2	17,3	2018	3	7	30,8	20,4
2018	1	22	26,6	17,6	2018	3	8	30	20,7
2018	1	23	25,4	17,8	2018	3	9	30,2	18,3
2018	1	24	27,8	18,3	2018	3	10	28,8	18,2
2018	1	25	28,2	18,2	2018	3	11	26,8	18,3
2018	1	26	27,4	18	2018	3	12	28,6	18,9
2018	1	27	28,2	18,4	2018	3	13	29,6	19,1
2018	1	28	26,2	17,8	2018	3	14	28,4	19,2
2018	1	29	28,4	18,2	2018	3	15	26,4	20
2018	1	30	28	18	2018	3	16	28,8	20,3
2018	1	31	27,6	18,1	2018	3	17	26,2	17
2018	2	1	28,4	18,3	2018	3	18	28,6	17,23
2018	2	2	28,8	18,4	2018	3	19	27,3	17,6
2018	2	3	29,8	18,8	2018	3	20	26,5	18
2018	2	4	28,8	18,2	2018	3	21	30,2	18,2
2018	2	5	29,5	18,7	2018	3	22	29,4	18,1
2018	2	6	29	19,5	2018	3	23	28,5	17,4
2018	2	7	29,2	19,9	2018	3	24	25	16
2018	2	8	28,5	20	2018	3	25	25,8	16,5
2018	2	9	30,8	21,5	2018	3	26	27,6	16,8
2018	2	10	29,8	19,9	2018	3	27	25,4	18,4
2018	2	11	26,5	20	2018	3	28	28,3	17
2018	2	12	29,3	19,2	2018	3	29	25	16,5
2018	2	13	29,2	19,8	2018	3	30	23,4	16
2018	2	14	29,4	19,9	2018	3	31	25,2	16,8
					2018	4	1	25,4	16,1

2018	4	2	25,7	16,4	2018	5	18	23,2	15,2
2018	4	3	26,2	18,5	2018	5	19	21	14,9
2018	4	4	27,8	17,8	2018	5	20	20,8	15,1
2018	4	5	25,6	19,8	2018	5	21	18,5	15,2
2018	4	6	27	18,3	2018	5	22	16,6	15
2018	4	7	28	16,3	2018	5	23	16	14,6
2018	4	8	28,2	18,5	2018	5	24	20,5	14
2018	4	9	29	17,2	2018	5	25	20,7	13,7
2018	4	10	27	17	2018	5	26	21	13,8
2018	4	11	24	16	2018	5	27	20,8	13,6
2018	4	12	27,6	16,2	2018	5	28	18,6	13
2018	4	13	24,8	16	2018	5	29	21	12,8
2018	4	14	26,2	15,5	2018	5	30	20,6	12,5
2018	4	15	24	15	2018	5	31	20,9	12,7
2018	4	16	23,6	16,4	2018	6	1	21,4	14
2018	4	17	23,9	14,7	2018	6	2	19,5	13,7
2018	4	18	23,8	14,6	2018	6	3	19,7	12,5
2018	4	19	27,4	14,2	2018	6	4	19	12,7
2018	4	20	23	15,4	2018	6	5	19,8	12,8
2018	4	21	23,2	15	2018	6	6	20,2	12,6
2018	4	22	22,2	14	2018	6	7	21	13,4
2018	4	23	25,7	14,9	2018	6	8	19,4	13
2018	4	24	24,3	15,1	2018	6	9	15,4	13,5
2018	4	25	24	14,8	2018	6	10	15,2	13,6
2018	4	26	24,8	14,9	2018	6	11	19	13,8
2018	4	27	24,2	14,2	2018	6	12	19,8	13
2018	4	28	27,4	14,4	2018	6	13	18,6	12,8
2018	4	29	26,2	14,5	2018	6	14	16,2	13,8
2018	4	30	24,3	14,9	2018	6	15	15,5	13,7
2018	5	1	22,2	15	2018	6	16	15,3	13,6
2018	5	2	22,8	15,1	2018	6	17	17,5	13,4
2018	5	3	24	14,8	2018	6	18	19,4	13,5
2018	5	4	22,6	14,4	2018	6	19	20	13,3
2018	5	5	20,6	14,6	2018	6	20	14,8	13,2
2018	5	6	24,8	14,2	2018	6	21	14,7	13
2018	5	7	25,4	15,7	2018	6	22	17,6	12,8
2018	5	8	20,4	14,8	2018	6	23	18,3	13
2018	5	9	22,2	15,3	2018	6	24	17,5	13,2
2018	5	10	24,4	16	2018	6	25	15,2	13,1
2018	5	11	22	16,8	2018	6	26	14,5	12,8
2018	5	12	24	15,6	2018	6	27	13,8	12,5
2018	5	13	21,6	15,4	2018	6	28	13,5	12
2018	5	14	22,2	14,2	2018	6	29	13,9	11,7
2018	5	15	22,8	14,4	2018	6	30	20,9	11,9
2018	5	16	24,5	15,3	2018	7	1	21	12,8
2018	5	17	24	15,5	2018	7	2	15,2	12,7

2018	7	3	14,4	12,5	2018	8	18	15	11,9
2018	7	4	13	11,9	2018	8	19	14,8	12
2018	7	5	12,9	11,6	2018	8	20	12,9	11,7
2018	7	6	15,8	11,2	2018	8	21	14,3	11,6
2018	7	7	15,3	11,5	2018	8	22	17,4	11,8
2018	7	8	17,8	11,6	2018	8	23	18,2	10,9
2018	7	9	18	11,4	2018	8	24	15,4	11,6
2018	7	10	14	11,8	2018	8	25	14,3	11,7
2018	7	11	13,8	12	2018	8	26	13,2	11,5
2018	7	12	13,6	12,1	2018	8	27	14,2	11,9
2018	7	13	14,4	12,2	2018	8	28	16,8	12
2018	7	14	13,8	12	2018	8	29	18	11,6
2018	7	15	13,6	11,9	2018	8	30	14	12
2018	7	16	14,2	11,8	2018	8	31	14,2	11,8
2018	7	17	16	12	2018	9	1	14,7	10,8
2018	7	18	19	11,9	2018	9	2	15,8	11,9
2018	7	19	17,5	12	2018	9	3	15,5	12
2018	7	20	15	12,1	2018	9	4	18,3	12,2
2018	7	21	19,1	12,2	2018	9	5	18	11,7
2018	7	22	13,6	12	2018	9	6	13,4	12,1
2018	7	23	14	11,6	2018	9	7	12,9	11,9
2018	7	24	13,5	11,8	2018	9	8	18,5	11,6
2018	7	25	13,4	11,7	2018	9	9	19,2	11,9
2018	7	26	13,6	11,9	2018	9	10	19,8	12,9
2018	7	27	13,2	12,1	2018	9	11	15	13
2018	7	28	13	11,8	2018	9	12	16,8	12,4
2018	7	29	13,4	11,9	2018	9	13	20	12,5
2018	7	30	13,2	12	2018	9	14	20	13
2018	7	31	13,5	12,1	2018	9	15	14,5	12,7
2018	8	1	14,2	12	2018	9	16	13,7	12,6
2018	8	2	13,9	11,9	2018	9	17	16,2	12,4
2018	8	3	13,5	11,7	2018	9	18	17,6	12,5
2018	8	4	13	11,8	2018	9	19	18	12
2018	8	5	14	11,9	2018	9	20	20	12,5
2018	8	6	13,7	12,1	2018	9	21	18,5	12,6
2018	8	7	15,8	11,6	2018	9	22	15,7	12,5
2018	8	8	13,6	11,9	2018	9	23	15	12,4
2018	8	9	14,2	11,8	2018	9	24	14	12,6
2018	8	10	13,2	11,5	2018	9	25	15,8	12,4
2018	8	11	13	11,7	2018	9	26	14,6	12,4
2018	8	12	13,1	11,8	2018	9	27	14	12,6
2018	8	13	13,8	11,7	2018	9	28	17	12,3
2018	8	14	14,2	11,6	2018	9	29	17,4	12,4
2018	8	15	13,9	11,8	2018	9	30	19,4	12,6
2018	8	16	13,3	11,7	2018	10	1	15,5	12,5
2018	8	17	14,6	11,8	2018	10	2	14,2	12,2

2018	10	3	17,2	11,5	2018	11	18	20,9	13
2018	10	4	17	11,7	2018	11	19	21,5	14
2018	10	5	19	11,6	2018	11	20	24,8	14,1
2018	10	6	17,8	11,8	2018	11	21	26	14,3
2018	10	7	15	11,9	2018	11	22	23,2	14,8
2018	10	8	16	12,1	2018	11	23	20,5	14
2018	10	9	16,8	12,2	2018	11	24	21	14,1
2018	10	10	16,4	11,9	2018	11	25	21,8	13,8
2018	10	11	18,6	12	2018	11	26	21,7	14,4
2018	10	12	15,3	12,2	2018	11	27	19,5	14,6
2018	10	13	20,8	12,3	2018	11	28	19,7	14,5
2018	10	14	22	12,7	2018	11	29	22,8	14,6
2018	10	15	19,8	12,9	2018	11	30	23,1	14,8
2018	10	16	15,3	12,8	2018	12	1	21,8	14,5
2018	10	17	18	12,7	2018	12	2	23,6	15,2
2018	10	18	17,2	12,5	2018	12	3	19,2	14,9
2018	10	19	15	12,6	2018	12	4	24	15
2018	10	20	15,7	12	2018	12	5	24,8	15,2
2018	10	21	19,6	12,2	2018	12	6	20,3	15
2018	10	22	21,6	12,6	2018	12	7	24,2	15,1
2018	10	23	19,8	12,9	2018	12	8	24	15
2018	10	24	20,5	13,1	2018	12	9	24,1	15,3
2018	10	25	21,4	13	2018	12	10	26	16
2018	10	26	15,2	13,2	2018	12	11	23,9	15,8
2018	10	27	16	13,3	2018	12	12	20	16
2018	10	28	19,8	13,2	2018	12	13	20,8	15,8
2018	10	29	22	12,9	2018	12	14	25,6	16,2
2018	10	30	15,9	13,1	2018	12	15	25,1	16
2018	10	31	18,8	13	2018	12	16	24,9	16,3
2018	11	1	19,2	13,4	2018	12	17	25,6	16,5
2018	11	2	19	13,6	2018	12	18	26,7	15,8
2018	11	3	21	13,7	2018	12	19	25,3	15,9
2018	11	4	21,7	13,6	2018	12	20	25	16
2018	11	5	16,8	13,7	2018	12	21	24,2	15,8
2018	11	6	15	13,3	2018	12	22	27	16
2018	11	7	14,7	12,9	2018	12	23	26	15,9
2018	11	8	16	13,2	2018	12	24	23,2	16,1
2018	11	9	19	13,4	2018	12	25	26,9	17
2018	11	10	19,2	12,8	2018	12	26	26,2	16,8
2018	11	11	20	12,4	2018	12	27	26,8	16,9
2018	11	12	23,4	13,4	2018	12	28	26,7	16,4
2018	11	13	19,6	13,2	2018	12	29	25,2	16
2018	11	14	20,2	13,1	2018	12	30	25,7	16,1
2018	11	15	20,8	13,4	2018	12	31	25,2	16,3
2018	11	16	21	13,3					
2018	11	17	19	13,2					

## **Anexo H**

# **Cotización, condiciones generales y reporte de laboratorio**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES  
Unidad de Biomasa Energética

COTIZACIÓN LER-BIOMASA-018/2021

Fecha : La Molina, 21 de junio del 2021  
Cliente : Sr. Winer Hernán Zevallos Villayzán  
Dirección : Lima.  
Atención : Sr. Winer Hernán Zevallos Villayzán

De nuestra especial consideración:

Sirva la presente para saludarlos y a su vez, detallarles nuestra siguiente cotización:

ANÁLISIS/PARÁMETROS	NORMA/ MÉTODO	CANTIDAD	PRECIO (Soles)	
			Unit.	Total
ANÁLISIS ELEMENTAL				
Carbono	ASTM D5373/Mét. A	1	70.00	70.00
Hidrógeno		1	70.00	70.00
Nitrógeno		1	70.00	70.00
Oxígeno		1	70.00	70.00
Azufre	ASTM D4239	1	80.00	80.00
ANÁLISIS PROXIMAL (TERMOGRAVIMÉTRICO)				
Humedad	ASTM D7582	1	60.00	60.00
Materia Volátil		1	60.00	60.00
Ceniza		1	60.00	60.00
ANÁLISIS DE CONTENIDO ENERGÉTICO				
Poder Calórico Superior (PCS)	ASTM D 5865	1	80.00	80.00
Poder Calórico Inferior (PCI)		1	80.00	80.00
ANÁLISIS DE MATERIAS ORGÁNICAS				
pH <sup>(1)</sup>	Potenciométrico	3	20.00	60.00
			<b>Sub - Total</b>	760.00
			<b>Desc. (20%)</b>	152.00
			<b>IGV (18%)</b>	109.44
			<b>TOTAL</b>	717.44

Son: Setecientos diecisiete con 44/100 Soles

**NOTA:**

(\*) Se aplica un 20% de descuento por tratarse de TESIS DE PREGRADO.

(1) En el Reporte de Resultados, para el parámetro de pH, sólo indicará el valor de éste y el día de su medición contabilizado desde la fecha de su toma de muestra.

Muy atentamente,

Angela Castillo Híjar  
Asistente de Investigación - UBE  
Laboratorio de Energías Renovables  
FIA-UNALM



Laboratorio de  
Energías Renovables  
UNIDAD DE BIOMASA ENERGÉTICA



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES**  
Unidad de Biomasa Energética

**CONDICIONES GENERALES:**

1. Para la recepción de muestras se recomienda que cada una de las muestras (especies) cumpla con lo siguiente:
  - Representativa y homogénea, sin impurezas.
  - Muestra de 100 gramos de peso.
  - Partículas de 1" de longitud.
  - En bolsas de plástico (ziploc bags).
2. Las recomendaciones para la recolección de muestras de residuos sólidos orgánicos son:
  - Si los residuos están en una única pila o montón, se debe hacer un cuarteo (estas pueden ir desde cuatro hasta diez). Cada una de las secciones se vuelve a someter a cuarteo tomando sub-muestras de la parte externa y del interior de la pila.
  - Las sub-muestras se guardan en bolsas plásticas de cierre hermético, se etiquetan registrando los datos de la persona que tomó la muestra, el tipo de muestra, la fecha de toma y el lugar donde se recolectó.
  - Las muestras se depositan en una cava con hielo y se trasladan al laboratorio en el menor tiempo posible para evitar variaciones en sus características.
3. La totalidad de los parámetros establecidos se rigen bajo las normas norteamericanas ASTM (American Society for Testing and Materials) de los comités técnicos de normalización, para muestras sólidas de material orgánico (carbón y coque).
4. Forma de Pago:
  - Al contado: Depósito en cuenta o transferencia bancaria. Se requiere del pago por adelantado al 100%, para poder iniciar el análisis.
  - Cuando el MONTO TOTAL por el servicio de análisis es mayor o igual a S/. 700.00 (Setecientos con 00/100 Nuevos Soles) se deposita sólo el 12% de éste al Banco de la Nación.
  - El Cliente enviará al correo (erenovables@lamolina.edu.pe) el comprobante de pago escaneado de los pagos realizados por el servicio de análisis.
5. El tiempo de entrega de resultados puede variar dependiendo del número de muestras y de la naturaleza de las mismas, siendo la entrega a partir de 07 días hábiles.
6. La solicitud de observación sobre los resultados deberá ser comunicado dentro del plazo de 7 días calendarios contados desde la fecha de entrega del Reporte de Análisis de Caracterización de Biomasa, la aceptación estará sujeta a evaluación por parte del Analista de la Unidad de Biomasa Energética. Vencido el plazo señalado se entenderá que el cliente quedó conforme con el Reporte de Análisis de Caracterización de Biomasa.

**CUENTAS BANCARIAS:**

Depósito a Nombre de: Fundación para el Desarrollo Agrario

- Banco de Crédito del Perú - Cta. Cte. SOLES: 191-0031059-0-26
- Cta. Interbancaria SOLES: 002191000031059 026-50
- Banco de la Nación - Cta. Detracción SOLES: 00000311065



UNIDAD DE BIOMASA ENERGÉTICA

**INFORME DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DE PURINES DE CERDO****1. Información del muestreo****Información**

<i>Fecha de muestreo</i>	18 / junio / 2021
<i>Lugar de muestreo</i>	Huaral, Lima.
<i>Plan de muestreo</i>	---
<i>Adjuntar fotos</i>	---

**2. Recolección de muestras de biomasa residual**

Las muestras de purines de cerdo fueron recolectadas de tres puntos de muestreo del lugar de estudio del presente trabajo de investigación en la provincia de Huaral, departamento de Lima. La cantidad de materia prima recogida fue de entre 0.2 kg de peso cada una. Antes de realizar los análisis, las muestras fueron mezcladas para obtener una sola muestra homogénea y representativa de 0.2 kg. para su posterior análisis, tal como se detalla en la figura 01.



**Figura 01.** Recolección de la muestra de purines de cerdo para su posterior análisis en laboratorio.

### 3. Caracterización de la biomasa

#### 3.1. Análisis proximal o termogravimétrico

Se realizó un análisis proximal de la muestra de purines de cerdo para conocer los parámetros de contenido de humedad, cenizas, materia volátil y carbono fijo de la muestra en base húmeda (tal como se recibe, sin pretratamiento previo); el Carbono fijo se determina por cálculo, se le resta al 100% los porcentajes de humedad, material volátil y cenizas. El análisis se realizó por triplicado mediante un analizador termogravimétrico TGA-701 LECO, de acuerdo con la norma ASTM D7582. Se pesaron tres crisoles cerámicos y se llenaron con un rango de 0.9 g. a 1.2 g. de muestra de purines de cerdo. Después de colocar los crisoles dentro del instrumento y cerrar la tapa, se procede con el análisis en el analizador según la norma indicada. Los resultados se obtuvieron porcentajes respecto al peso de la muestra analizada en base húmeda. Los requerimientos de análisis según la norma se detallan en la tabla 01.

<i>Parámetro</i>	<i>Masa inicial</i>	<i>Humedad</i>	<i>Material volátil</i>	<i>Cenizas</i>
<i>Rango de temperatura (°C)</i>		25 – 107	107 - 950	600 - 750
<i>Velocidad de calentamiento (°C/min.)</i>		6	46	3
<i>Atmosfera</i>		Nitrógeno	Nitrógeno	Oxígeno
<i>Velocidad de flujo (L/min.)</i>		Alto	Alto	Bajo
		10	10	3.5
<i>Análisis de muestras:</i>				
<i>Crisol 01 (masa en gramos)</i>	0.956	0.713	0.152	0.029
<i>Crisol 02 (masa en gramos)</i>	1.097	0.816	0.176	0.033
<i>Crisol 03 (masa en gramos)</i>	1.104	0.822	0.175	0.035

**Tabla 01.** Requerimientos de la norma ASTM D7582 para el analizador termogravimétrico TGA701 LECO.

#### 3.2. Análisis Elemental o último

El alcance del análisis elemental fue determinar el contenido porcentual de carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N), oxígeno (O) y azufre (S) de la biomasa. Los análisis se realizaron con los analizadores elemental CHN628, O628 y S628 LECO según las normas ASTM D5373 para C, H, N y O y ASTM D4239 para S, estos requerimientos se detallan en la tabla 02.

<i>Parámetro</i>	<i>CHN</i>	<i>O</i>	<i>S</i>
<i>Norma / método</i>	ASTM D5373	ASTM D5373	ASTM D4239
<i>Masa de la muestra (mg.)</i>	80	2	250
<i>Temperatura (°C)</i>	950	1300	1450
<i>Atmosfera</i>	Helio, Oxígeno y Aire	Helio y Aire	Oxígeno
<i>Tiempo de análisis (seg.)</i>	100 - 240	80	60 - 120

**Tabla 02.** Requerimientos del protocolo ASTM D5373 y ASTM D4239 para los analizadores CHN628, O628 y S628 LECO.

El análisis se expresó como base seca de muestra (secado en estufa a 105 °C durante 24 horas). Previo a los análisis, se realizó la molienda de la muestra en base seca para ser analizadas, este procedimiento se detalla en la figura 02. Luego, se realizó el análisis por triplicado y cargando la masa de muestra en una cápsula de estaño previamente pesada y luego cargada en los analizadores CHN628 y O628, y en crisoles de circonio en el analizador S628. Los resultados se obtuvieron en porcentajes respecto al peso de la muestra analizada en base seca.



Figura 02. Tratamiento previo de la muestra en base seca: 1) muestra secada en estufa 105 °C durante 24 horas, 2) molienda de la muestra seca y 3) muestra molida para los análisis.

### 3.3. Análisis de Poder Calorífico

El análisis del Poder Calorífico de la biomasa se realizó con el equipo Calorímetro AC600 LECO según la norma ASTM D5865 – 13, estos requerimientos se detallan en la tabla 03. El análisis y los resultados se expresaron en base húmeda (muestra tal como fue recibida) para determinar el Poder calórico Inferior (PCI) y en base seca de muestra (secado en estufa a 105 °C durante 24 horas) para determinar el Poder calórico Superior (PCS). Previo a los análisis, se realizó la molienda de la muestra en base seca para ser analizadas, este procedimiento se detalla en la figura 02. Luego, se realizó el análisis por triplicado y cargando la masa de muestra en los crisoles metálicos, colocados en la bomba calorimétrica con hilo de algodón para la ignición y llenado con oxígeno, después del análisis se descarga el oxígeno de la bomba calorimétrica. Los resultados se obtuvieron en kcal/kg.

<i>Parámetro</i>	<i>PCI</i>	<i>PCS</i>
<i>Norma / método</i>	ASTM D5373	ASTM D5373
<i>Masa de la muestra (g.)</i>	0.2 - 0.3	0.2 - 0.3
<i>Temperatura (°C)</i>	15 - 35	15 - 35
<i>Atmosfera</i>	Oxígeno y Aire	Oxígeno y Aire
<i>Tiempo de análisis (min.)</i>	5 - 9	5 - 9

Tabla 03. Requerimientos del protocolo ASTM D5865 – 13 para el calorímetro AC600 LECO.

### 3.4. Análisis del parámetro fisicoquímico: pH

#### 3.4.1. Calibración del equipo

El multiparámetro PCSTestr 35 se calibró con las disoluciones patrón refrigeradas para calibrarlas a temperatura ambiente. Siendo estos patrones: pH = 4.01, pH = 7.00 y pH = 10.01. En la figura 03 nos muestra el procedimiento para la calibración del equipo:



Figura 03. Procedimiento para la calibración del equipo multiparámetro PCSTestr 35.

#### 3.4.2. Preparación de la muestra

La cuantificación del parámetro pH para la caracterización de la muestra de purines de cerdo se realizó mediante el control del pH y temperatura durante los días contabilizados a partir de la fecha de muestreo. La muestra se conservó en refrigeración y para el análisis del parámetro pH se utilizó el multiparámetro PCSTestr 35 (Temperatura de mediación de 0 a 50°C), ésta fue llevada a temperatura ambiente para su medición se usó el método de dilución 1:2, siguiendo los pasos descritos a continuación:

- i. Se combinó en un vaso de precipitados (250 mL) una parte de muestra (50 mL) con 2 partes de agua destilada (100 mL).
- ii. Luego, se dejó reposar la mezcla por 30 minutos para que se equilibre. Posteriormente, se utilizó papel filtro para ser filtrada para la eliminación de algunos sólidos.

- iii. Se recogió el purín soluble en un vaso de precipitados (250 mL) limpio y se midió el pH. En la figura 04, nos muestra el procedimiento descrito anteriormente para la preparación del purín soluble:

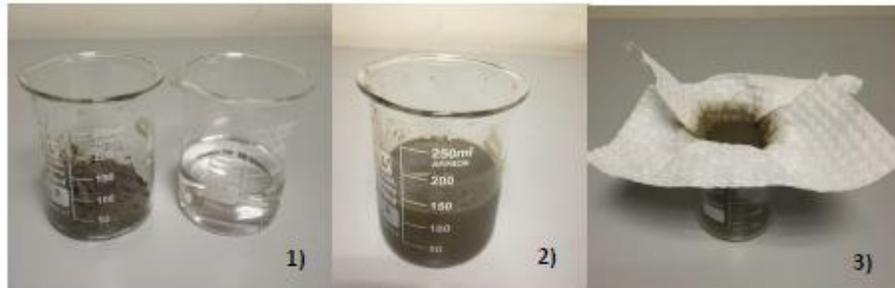


Figura 04. Preparación de la muestra de purines fresco soluble: 1) mezcla de muestra y agua destilada en una relación de 1:2, 2) muestra soluble y 3) muestra filtrada.

#### 3.4.3. Resultados del parámetro pH

Finalmente, se analizó la muestra fresca de purines de cerdo a temperatura ambiente en los tres días posteriores a su fecha de muestreo, siendo éstos medidos al día 03, 07 y 12. Los resultados permitieron conocer la composición del purín fresco con valores cercanos al pH neutro ( $\text{pH} = 7$ ). En la figura 05 se detalla el procedimiento para obtener el pH y su temperatura de análisis.

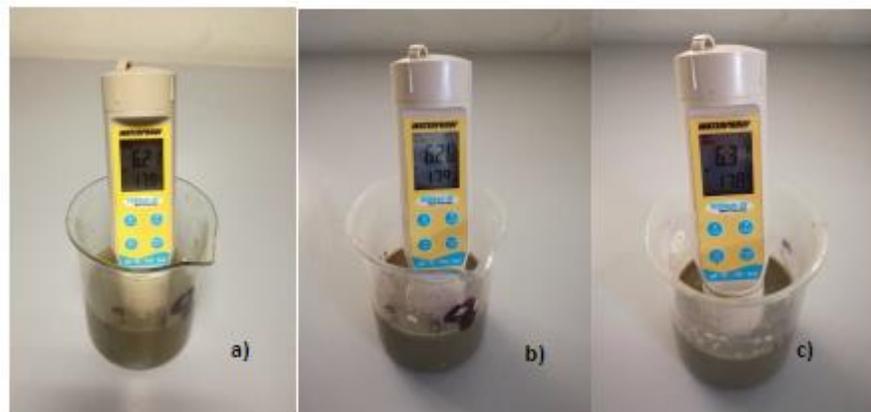


Figura 05. Medición del pH la muestra fresca de purines de cerdo a temperatura ambiente en los tres días posteriores a su fecha de muestreo.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES  
Unidad de Biomasa Energética

REPORTE DE ANÁLISIS ELEMENTAL (C, H, N, O, S)  
LER – BIOMASA 005 - 2021

Solicitante : Sr. Winer Hernán Zevallos Villayzán  
Atención : Sr. Winer Hernán Zevallos Villayzán  
Muestra : Purines de cerdo  
Procedente de : Huaral, Lima.  
Fecha Recepción : 21 / 06 / 2021  
Norma : ASTM D5373 - ASTM D4239

N. LABORATORIO	CÓDIGO DE CAMPO	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	O (%)
UBE-(06/2021)-0005	PURIN-01	43.89	6.50	2.88	0.25	35.16

**NOTA:**

- El análisis se realizó con la muestra en base seca (la muestra tal como se recibió fue secada en estufa durante 24 horas a 105 °C), con humedad entre 0% a 05%.
- Se realizó el análisis por triplicado de cada muestra, obteniéndose resultados aproximados y se determinó la desviación estándar (medida de la dispersión de los valores respecto a la media) de la muestra.



Laboratorio de  
Energías Renovables

José Calle Maravi, Ph. D.  
Jefe del Laboratorio de  
Energías Renovables



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES  
Unidad de Biomasa Energética

REPORTE DE ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO – TGA (PROXIMAL)  
LER – BIOMASA 006 - 2021

**Solicitante** : Sr. Winer Hernán Zevallos Villayzán  
**Atención** : Sr. Winer Hernán Zevallos Villayzán  
**Muestra** : Purines de cerdo  
**Procedente de** : Huaral, Lima.  
**Fecha Recepción** : 21 / 06 / 2021  
**Norma** : ASTM D7582

N. LABORATORIO	CÓDIGO DE CAMPO	BASE HUMEDA			
		CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	MATERIA VOLÁTIL (%)	CENIZAS (%)	CARBONO FIJO (%)
UBE-(06/2021)-0005	PURIN-01	74.50	15.93	3.06	6.50

**NOTA:**

- El análisis se realizó con la muestra en base húmeda (La base húmeda se refiere al análisis de la muestra sin tratamiento previo).
- Se realizó el análisis por triplicado de cada muestra, obteniéndose resultados aproximados y se determinó la desviación estándar (medida de la dispersión de los valores respecto a la media) de la muestra.



Laboratorio de  
Energías Renovables

José Calle Maravi, Ph. D.  
Jefe del Laboratorio de  
Energías Renovables



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES  
Unidad de Biomasa Energética

REPORTE DE ANÁLISIS DE PODER CALÓRICO  
(CALORÍMETRO)  
LER – BIOMASA 007 – 2021

**Solicitante** : Sr. Winer Hernán Zevallos Villayzán  
**Atención** : Sr. Winer Hernán Zevallos Villayzán  
**Muestra** : Purines de cerdo  
**Procedente de** : Huaral, Lima.  
**Fecha Recepción** : 21 / 06 / 2021  
**Norma** : ASTM D5865 – 13

N. LABORATORIO	CÓDIGO DE CAMPO	BASE SECA	BASE HÚMEDA
		PCS (kCal/kg)	PCI (kCal/kg)
UBE-(06/2021)-0005	PURIN-01	3844.86	980.43

**NOTA:**

- El PCS se obtiene de la muestra analizada en base seca (la muestra tal como se recibió fue secada en estufa durante 24 horas a 105 °C), con humedad entre 0% a 05%.
- El PCI se obtiene de la muestra analizada en base húmeda (La base húmeda se refiere al análisis de las muestras sin tratamiento previo).
- Se realizó el análisis por triplicado de cada muestra, obteniéndose resultados aproximados y se determinó la desviación estándar (medida de la dispersión de los valores respecto a la media) de la muestra.



Laboratorio de  
Energías Renovables

José Calle Maraví, Ph. D.  
Jefe del Laboratorio de  
Energías Renovables



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES  
Unidad de Biomasa Energética

REPORTE DE ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS  
LER – BIOMASA 008 – 2021

Solicitante : Sr. Winer Hernán Zevallos Villayzán  
Atención : Sr. Winer Hernán Zevallos Villayzán  
Muestra : Purines de cerdo  
Procedente de : Huaral, Lima.  
Fecha de muestreo : 18 / 06 / 2021  
Fecha Recepción : 21 / 06 / 2021  
Parámetro : pH  
Método: : Potenciométrico

N. LABORATORIO	CÓDIGO DE CAMPO	pH	pH	pH
		Día 03	Día 07	Día 12
UBE-(06/2021)-0005	PURIN-01	6.21 (17.9°C)	6.28 (17.9°C)	6.31 (17.8°C)

**NOTA:**

- Los días que se controló el pH de la muestra estuvieron contabilizados a partir de la fecha de muestreo. La muestra se conservó en refrigeración, luego fue llevada a temperatura ambiente para su medición del pH.
- El control del pH se realizó mediante una mezcla de muestra y agua destilada en una relación de volumen de 01 a 02, respectivamente.



José Calle Maraví, Ph. D.  
Jefe del Laboratorio de Energías Renovables

# **Anexo I**

## **Catálogos de equipos**

## TREN DE CALIBRACIÓN DE BIOGÁS



El biogás que se aprovecha como combustible en generadores o calderas tiene que cumplir ciertas condiciones técnicas relativas al volumen, contenido y calidad del CH<sub>4</sub>, presión de servicio, seguridad y control. Si estos parámetros no se cumplen los generadores o calderas no funcionaran óptimamente o simplemente dejan de funcionar. O también la instalación es insegura y operara en rango de peligro por no haber instrumentación de control ni seguridades.

Por lo tanto, previo al aprovechamiento del biogás en hay que instalar un tren de calibración de biogás para controlar la presión, medir el caudal del biogás, medir la concentración de CH<sub>4</sub>, calibrar la presión de servicio, controlar el encendido y apagado del soplador, cierre automático del paso del biogás, corta llamas, etc.

Aqualimpia Engineering suministra soluciones completas para la línea o tren de calibración para el aprovechamiento del biogás para la generación de electricidad o calor





- EFFECTIVE REMOVAL AND COLLECTION OF CONDENSED WATER
- HIGH STORAGE CAPACITY
- LOW PRESSURE LOSS
- OPTIONAL AUTOMATIC CONDENSATE SEPARATOR
- OPTIONAL FILL LEVEL INDICATOR/SIGHT GLASS
- EASY CLEANING
- CONTAINER ENTIRELY MADE FROM 1.4571 STAINLESS STEEL
- MADE IN AUSTRIA

---

## CONDENSATE SEPARATOR / ACCUMULATOR POT

Sewage gas / biogas is gas that is saturated with water vapour. In fermentation gas plants and their pipeline systems there typically is a build-up of condensed water caused by temperature effects. Condensate can lead to blockages at low points and deposits, corrosion, etc. in pipe sections. The EnvironTec condensate separator for low-point water drainage effectively and safely collects and removes condensed water from the pipeline system.

Condensate pots are usually installed directly in the pipeline but can also be flanged below low-lying points of the pipeline. The water condensed out accumulates on the container walls or the separation wall and is collected at the bottom of the container.

Removal is manual via a ball valve or automatic via a siphon or an automatic condensate separator.

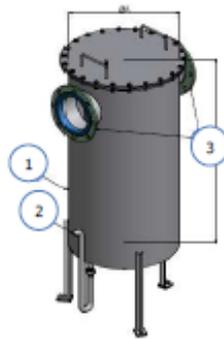
An optional fill level indicator or sight glass are also available.

The system is available in different sizes and specifications (basic specification, semi and fully automatic).

EnvironTec condensate separator pots are entirely made from 1.4571 stainless steel (substructure 1.4301).

## APPLICATIONS AND SPECIFICATIONS

- CONDENSATE COLLECTION/REMOVAL IN PIPELINE SYSTEMS OF FERMENTATION GAS PLANTS
- BODY MADE FROM 1.4571 STAINLESS STEEL, SUBSTRUCTURE 1.4301
- CONDENSATE DRAINAGE MANUAL OR VIA SIPHON OR SEPARATOR POT



- 1 CONDENSATE POT - LOWER BODY
- 2 SIPHON (1")
- 3 GAS INLET/OUTLET FLANGE

Model size	Diameter	Height	Flow rate	Gas connection
	A in mm	B in mm	Nm <sup>3</sup> /h	DN
CP01	300	800	< 200	80
CP02	480	1000	200 - 400	125
CP03	640	1200	400 - 750	200
CP04	955	1400	750 - 1200	250

AQUALIMPIA ENGINEERING E.K.  
 Niendorfer Str. 53 b  
 29525 Uelzen  
 Alemania  
[www.aqualimpia.de](http://www.aqualimpia.de)  
[aqua@aqualimpia.com](mailto:aqua@aqualimpia.com)



### Measured variables

- actual flow rate
- actual velocity
- standard volume flow (in combination with pressure and temperature sensors)

### Design

- measuring tube with flanged connection



### Functional principle

- vortex meter for measuring flow rate and volume
- ultrasonic acquisition of the frequency of the vortex shedding

### Advantages

- compact unit for explosive atmospheres with local display
- applications in Category 1 (Zone 0 and 20); transducer housing approved for Category 2 (Zone 1 and 21)
- no external isolation/supply unit necessary
- recognizes even the lowest rates of flow, thanks to patented ultrasonic sensing
- high turndown (up to 1 : 100)
- no moving parts
- easy to clean
- high durability
- corrosion-resistant
- largely unaffected by gas composition
- marginal pressure loss
- easy adjustment of parameters with HART® interface

### Examples of application

- flow measurement in explosive atmospheres: air, exhaust air, sludge activation air, engine intake air, natural gas, waste gas, process gas, biogas, car exhaust emissions, flare gas, water vapour, ...

### Media

- primarily single-phase gas mixtures with air, nitrogen, oxygen, methane, natural gas, flare gas, ammonia, argon, carbon monoxide, water vapour, ... as dominant components; combustion gas, biogas, fermentation gas, sewer gas

Other gases and gas mixtures on request.

### Particles, humidity and condensation

- dust or fibre particles in the gas do not affect the measurement, as long as these are not abrasive or accumulate on the sensor
- measurement uncertainty remains unaffected by a relative gas humidity of less than 100 % and a slight accumulation of condensate on the sensor



### (3) Materials in contact with the medium

Design	Material
... GE ...	stainless steel 1.4571, ceramics
... GT ...	titanium 3.7161, ceramics
... GH ...	Hastelloy 2.4610 (HC4), ceramics
... GL ...	tantalum, ceramics

### (4) Measuring range

Di [mm]	flow rate V/t [m³/h]	average flow velocity v <sub>m</sub> [m/s]	interrelationship v <sub>m</sub> - V/t
25	0.7 ... 44	0.4 ... 25	1 m/s = 1.77 m³/h
40	1.8 ... 135	0.4 ... 30	1 m/s = 4.52 m³/h
50	2.8 ... 212	0.4 ... 30	1 m/s = 7.07 m³/h
80	7.2 ... 724	0.4 ... 40	1 m/s = 18.1 m³/h
100	11.0 ... 1131	0.4 ... 40	1 m/s = 28.3 m³/h

Measurement uncertainty	< 1 % of measured value + 0.3 % FS (at +20 °C / 1000 hPa)
Repeatability	± 0.2 % of measured value + 0.025 % FS
Input/output sections	in order to achieve as great a measurement accuracy as possible, an input/output section of 20/10 × Di is recommended. The input section can be reduced considerably by using a flow rectifier (see Accessories). Further information on this subject can be found in the Operating Instructions

### (5) Maximum working pressure

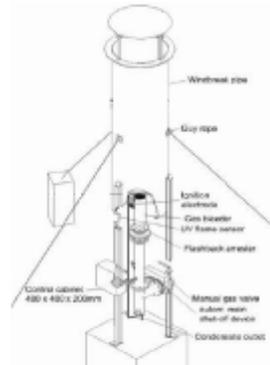
up to 10 bar / 1 MPa overpressure

### (6) Design

as in Drawing 1 (Page 1)

### (7) ATEX protection

for gas	: Ⓜ II 1/2 G Ex ia/d e [ia] IIC T6 Ga/Gb
for dust	: Ⓜ II 1/2 D Ex ia/tb IIIC TX Da/Db
sensor	: Category 1 (Zone 0 or 20)
transducer housing	: Category 2 (Zone 1 or 21)



### List of References - Gas Flares

Project	Country	Type	Size
11er Nahrungsmittel	Austria	FAII	200
ARA Niedersill	Austria	FAII	100
BGA Alpen / Obag	Germany	FAII	200
BGA Bredenoord	Netherlands	FAII	200
BGA Consuegra	Spain	FAII	400
BGA Dedelow	Germany	FAII	500
BGA Gemüsemayer	Germany	FAII	200
BGA Hagenbrunn	Germany	FAII	750
BGA Miralcamp	Spain	FAII	200
BGA Polan	Spain	FAII	400
BGA Pressl	Germany	FAII	200
BGA Senftenberg	Germany	FAII	750
BGA Tornitz	Germany	FAII	300
BGA Zwönitz	Germany	FAII	500
Biogas Produktions GmbH	Austria	FAII	100
Biogasanlage Cleanenergy	Netherlands	FAII	500
Biogasanlage Hohenberg	Germany	FAII	300
Certified Energy	Netherlands	FAII	500
Chulwon	South Korea	FAII	50
Deponie Blümel Landfill	Germany	FAII	200
Deponie Högl Landfill	Germany	FAII	200
Dogs and Horses	Taiwan	FAII	100
EKB Reiter	Austria	FAII	400
Etaone 3	Austria	FAII	200
Etaone 6/ Visentini	Austria	FAII	500
Etaone energy 1	Austria	FAII	200
Etaone energy 2	Austria	FAII	200
Ethco	Malawi	FAII	1000
Euskirchen	Germany	FAII	500
Flachsman	Switzerland	FAII	150
Hong Sung Koon Chung	Korea	FAII	120
Inretec	Turkey	FAII	100
WWTP Burladingen	Germany	FAII	50
WWTP Carl Macher	Germany	FAII	120
WWTP Dubai	UAE	FAII	80
WWTP Efes	Romania	FAII	150
WWTP Fallingbostal	Germany	FAII	100
WWTP Friedberg	Germany	FAII	50

WWTP Halberstadt	Germany	FAII	100
WWTP Heiligenkreuz	Austria	FAII	200
WWTP Istanbul	Turkey	FAII	250
WWTP Kalabrien	Italy	FAII	100
WWTP Köthen	Germany	FAII	100
WWTP Kusel	Germany	FAII	50
WWTP Lomersheim	Germany	FAII	120
WWTP Marienberg	Germany	FAII	60
WWTP Parthe	Germany	FAII	100
WWTP Plieningen	Germany	FAII	250
WWTP Pontives	Italy	FAI	120
WWTP Rastatt	Germany	FAII	150
WWTP Salzach-Pongau	Austria	FAII	100
WWTP Schiffweiler	Germany	FAII	500
WWTP Schwerin	Germany	FAII	250
WWTP Soest	Germany	FAII	500
WWTP Strass	Austria	FAII	200
Kayseri Sugar	Turkey	FAII	750
Kongjoo	South Korea	FAII	100
Koto Ljubljana	Slovenia	FAII	200
Kusel	Germany	FAII	500
MSTP Nang Tong	China	FAII	90
MSTP Nanjing	China	FAII	450
MSTP Quingdao	China	FAII	700
Najoo	South Korea	FAII	50
Okobit	Germany	FAII	300
Okostrom Lembach	Austria	FAII	50
Promest BV	Netherlands	FAII	400
Railway	Taiwan	FAII	100
Roquette	France	FAII	100
Sanjoo Collective Farming	Korea	FAII	100
SBL Linz	Austria	FAII	300
SKET Magdeburg	Germany	FAII	120
Song Won	Korea	FAII	60
Stanberg	Germany	FAII	300
Susan Koon Chung Collective Farming	Korea	FAII	50
Taichung Rice Wine	Taiwan	FAII	600
Westwood	UK	FAII	1000
Werfring	Austria	FAII	100
WWTP Adana West	Turkey	FAII	2x750
WWTP Bagnatica	Italy	FAII	100
WWTP Beicang	China	FAII	500
WWTP Gorna	Bulgaria	FAII	100
WWTP Hama	Syria	FAII	500
WWTP Isparta	Turkey	FAII	300
WWTP Kaunas	Lithuania	FAII	1000
WWTP Ljubjana	Slovenia	FAII	500
WWTP Oradea	Romania	FAII	300
WWTP Riga	Latvia	FAII	1000
WWTP Step Oran	Algeria	FAII	1300
Young Kwang	Korea	FAII	100
Zanae	Greece	FAII	120
WWTP Rodewisch	Germany	FAII	150
Impianti	Italy	FAII	500
Gent	Belgium	FAII	200
Polan	Spain	FAII hp	400
Consuegra	Spain	FAII hp	400

References Gas flare

2/2

WB

Miralcamp	Spain	FAII	200
WWTP Hamedan	Iran	FAII	500
BGA Liben	Czech Republic	FAII hp	300
BGA Becvary	Czech Republic	FAII hp	300
BGA Nove Lhotice	Czech Republic	FAII hp	300
Chiusa Pesio	Italy	FAII hp	400
BGA Bures	Czech Republic	FAII hp	400
BGA Beneschov	Czech Republic	FAII	500
BGA Canessi	Italy	FAII	200
Immenreuth	Germany	FAII hp	100
BGA Olesnice	Czech Republic	FAII lp	200
BGA Hodkovice	Czech Republic	FAII lp	200
BGA Niedermodeleben	Germany	FAII hp	1000
BGA Heidmann	Germany	FAII hp	200
BGA Mutenice	Czech Republic	FAII hp	400
Xinxinban	China	FAII lp	750
WWTP Bacau	Romania	FAII lp	300
NKW Tengen	Germany	FAII lp	300
Minsk	Belorus	FAII hp	750
Montanera	Italy	FAII hp	500
Bara Milsy	Slovakia	FAII lp	50
Westwood AD plant	UK	FAII hp	1000
Werfring Ploiesti	Romania	FAII	100/500
Danone Tschechow	Russia	FAII lp	200
BGA Kapovar	Hungary	FAII hp	300
BGA Radesinska Svatka	Czech Republic	FAII hp	400
BGA Jevicko	Czech Republic	FAII hp	400
AV Zirl	Austria	FAII lp	200
BGA Rhinow	Germany	FAII lp	200
BGA Zahnasovice	Czech Republic	FAII hp	400
BGA Telc	Czech Republic	FAII lp	200
Ankara Sugar	Turkey	FAII lp	400
Artas 1	Turkey	2 x FAII lp	750
Artas 2	Turkey	2 x FAII lp	400
Eskisehir	Turkey	FAII hp	1000
BGA Marchesi Ginori	Italy	FAII lp	300
BGA Schomakers	Germany	FAII hp	100
Overhoff, Baccumer Biocraft	Germany	FAII hp	200
WWTP Eisenhüttenstadt 1	Germany	FAII hp	750
WWTP Eisenhüttenstadt 2	Germany	FAII hp	750
Zhangjiagang city	China	FAII lp	100
WWTP Trebsen	Germany	FAII lp	200



# Polietileno de Alta Densidad

## Características y propiedades del Polietileno de Alta Densidad

Propiedad	Unidad	PE-80	PE-100
Densidad	Gr. / Cm <sup>3</sup>	0.948-0.956	0.957-0.961
Índice de Fluidez (MFR) 190°C/ 5 Kg	Gr. / 10 min	0.50	0.40
Contenido Negro de Humo	%	2.0-2.5	2.0-2.5
Resistencia a la Tracción	MPa	20-23	23-25
Resistencia a la Flexión	MPa	18	23
Módulo Tensil	MPa	1000	900
Tensión de Diseño (σ)	MPa	6.30	8.00
Mínimo Esfuerzo Requerido (MRS)	MPa	>8	>10
Alargamiento de Rotura	%	>600	>600
Coefficiente de dilatación lineal	mm/m°C	0.17-0.20	0.20
Temperatura de fragilidad	°C	<-70	<-70
Dureza Shore a 20°C	Escala D	61	61

### > Resistencia a los Productos Químicos

diferentes trabajos con éxito total. La resistencia ha sido evaluada en función del comportamiento de una probeta de HDPE sumergida en el fluido en mención a 20°C y 60°C. La evaluación final está esquematizada de la siguiente manera según la tabla:



Leyenda	Evaluación	Hinchamiento	Pérdida de Carga	Alargamiento a la Rotura
S	SATISFACTORIO	< 3%	< 0.5%	INVARIABLE
L	LIMITADO	3 – 8 %	0.5 – 5 %	DISMINUCIÓN<-50%
NS	NO SATISFACTORIO	> 8%	> 5%	DISMINUCIÓN<-50%

## Tubos PEAD bajo la norma ISO 4427, PE100

PE 100	SDR 7.4		SDR 9		SDR 11		SDR 13.6		SDR 17	
	PN 25		PN 20		PN 16		PN 12.5		PN 10	
Díámetro Nominal (mm)	Espesor (mm)	Peso (Kg / m)								
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	3.00	0.16	2.30	0.13	2.00	0.12	-	-	-	-
25	3.50	0.24	3.00	0.21	2.30	0.17	2.00	0.15	-	-
32	4.40	0.39	3.60	0.33	3.00	0.28	3.00	0.23	2.00	0.20
40	5.50	0.61	4.50	0.51	3.70	0.43	2.40	0.36	2.40	0.30
50	6.90	0.94	5.60	0.79	4.60	0.67	3.70	0.55	3.00	0.45
63	8.60	1.48	7.10	1.27	5.80	1.056	4.70	0.88	3.80	0.72
75	10.30	2.11	8.40	1.78	6.80	1.48	5.60	1.24	4.50	1.02
90	12.30	3.03	10.10	2.56	8.20	2.14	6.70	1.78	5.40	1.46
110	15.10	4.53	12.30	3.81	10.00	3.17	8.10	2.63	6.60	2.18
125	17.10	5.83	14.00	4.93	11.40	4.11	9.20	3.39	7.40	2.78
140	19.20	7.31	15.70	6.17	12.70	5.12	10.30	4.25	8.30	3.49
160	21.90	9.52	17.90	8.04	14.60	6.73	11.80	5.55	9.50	4.55
180	24.60	12.06	20.10	10.17	16.40	8.50	13.30	7.04	10.70	5.76
200	27.40	14.91	22.40	12.57	18.20	10.48	14.70	8.64	11.90	7.10
225	30.80	18.85	25.20	15.91	20.50	13.27	16.60	10.97	13.40	9.01
250	34.20	23.27	27.90	19.56	22.70	16.32	18.40	13.51	14.80	11.04
280	38.30	29.18	31.30	24.58	25.40	20.46	20.60	16.93	16.60	13.87
315	43.10	36.93	35.20	31.10	28.60	25.90	23.20	21.45	18.70	17.57
355	48.50	46.83	39.70	39.50	32.20	32.87	26.10	27.20	21.10	22.36
400	54.70	59.48	44.70	52.10	36.30	41.73	29.40	34.49	23.70	28.25
450	61.50	75.24	50.30	63.44	40.90	52.85	33.10	43.69	26.70	35.80
500	-	-	55.80	78.17	45.40	65.21	36.80	53.90	29.70	44.23
560	-	-	62.50	98.08	50.80	81.69	41.20	67.63	33.20	55.41
630	-	-	70.30	124.11	57.20	103.51	46.30	85.48	37.40	70.18
710	-	-	-	-	64.50	131.70	52.20	108.77	42.10	89.18
800	-	-	-	-	-	-	58.80	137.97	47.40	113.09
900	-	-	-	-	-	-	66.20	174.79	53.30	143.05
1000	-	-	-	-	-	-	-	-	59.30	176.80
1200	-	-	-	-	-	-	-	-	67.90	243.52

• Para otros diámetros y SDR consultar con Asistencia Técnica.

## Long-axis agitator GIANTMIX FR 30°



For concrete and steel tanks - mounting through the wall



### FR 1 - 5 (200 | 275 | 400 rpm)

- Tube Ø 101.6 mm in ss304 or ss316
- Tube wall thickness 4.0 or 5.7 mm
- Tube length 3 or 4 m
- Propeller Ø 660 - 850 mm in ss304, ss316 or hardened steel
- Ex-motor with 7.5 kW (200 rpm) | 11 kW / 15 kW (275 rpm - IE3) | 15 / 18.5 kW (400 rpm - IE3) for ex-zone 2
- Power 13.5 kW for ex-zone 1
- PTC thermistors 160°C as overheat protection
- Low noise spur gear ( $i=5.31$  or  $3.69$ )
- Bearing housing with mechanical seal SiC/SiC independent of rotation and two tapered roller bearings to absorb the axial forces
- Sealing plates in ss304 or ss316 in three sizes
- Sealing membrane or rubber compression seal in EPDM 60
- Oil equalizing container for monitoring the tightness of the mechanical seal
- Installation depth up to 1.5 m beneath substrate level, deeper immersion depths on request
- Vertical inclination with upper link or optional  $\pm 25^\circ$  with pinion rack
- Option: rain protection hood in ss304
- Option: tractor-driven configuration through PTO-connection
- Giantmix FR 30° HY: without motor and with PTO connection



# **Anexo J**

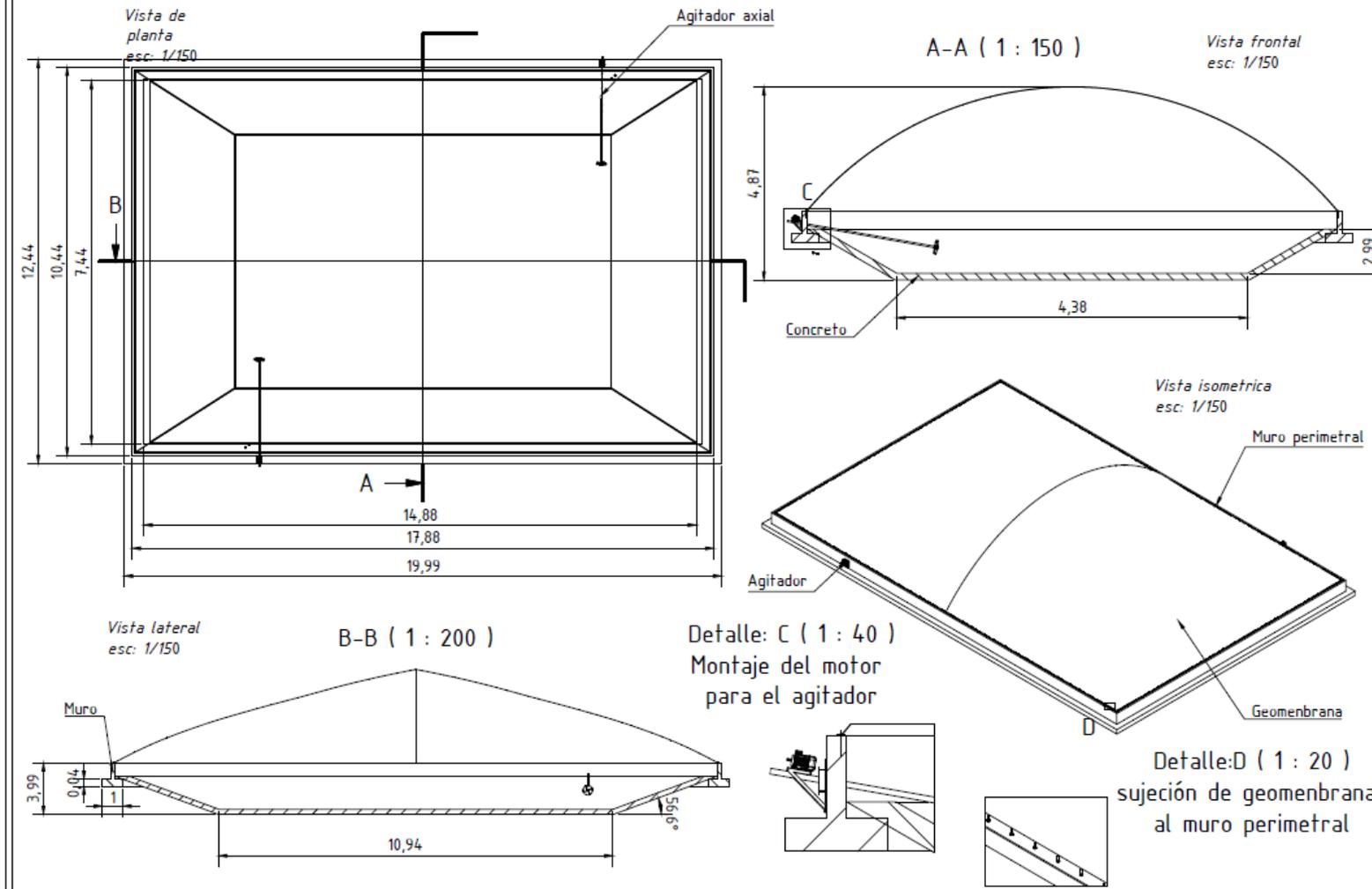
## **Planos de planta**







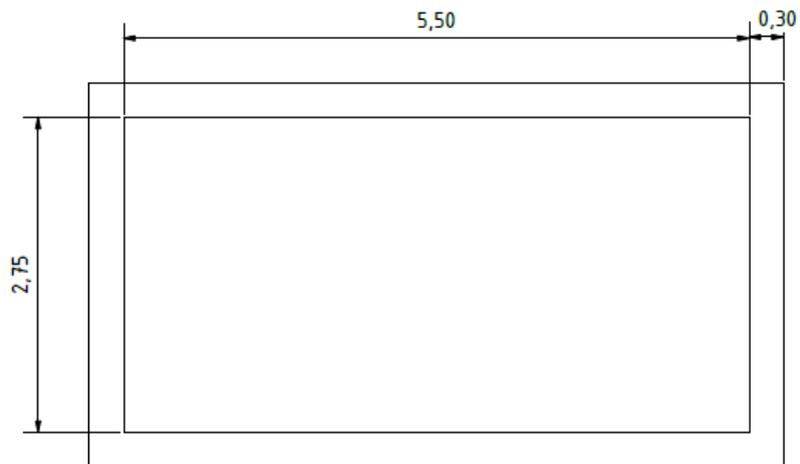
*Plano de vista principales del biodigestor tipo laguna cubierta*



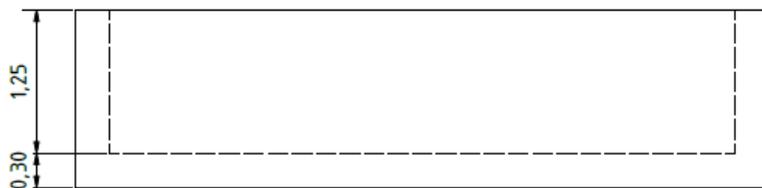
 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO</p>	
<p>PROFESOR</p>	
<p>PEIRO CASAS</p>	
<p>PROYECTO</p>	
<p>DISEÑO DE BIODIGESTOR TIPO LAGUNA CUBIERTA</p>	
<p>PROFESOR</p>	
<p>Dr. Napoleón Juerguí Vangredes</p>	
<p>PROFESOR</p>	
<p>PROFESOR RESPONSABLE</p>	
<p>Dr. Napoleón Juerguí Vangredes</p>	
<p>PROFESOR</p>	
<p>PROFESOR RESPONSABLE</p>	
<p>Vistas principales del biodigestor tipo laguna cubierta</p>	
	
<p>BTL-01</p>	

## Dimensiones de la laguna de descarga para el biol.

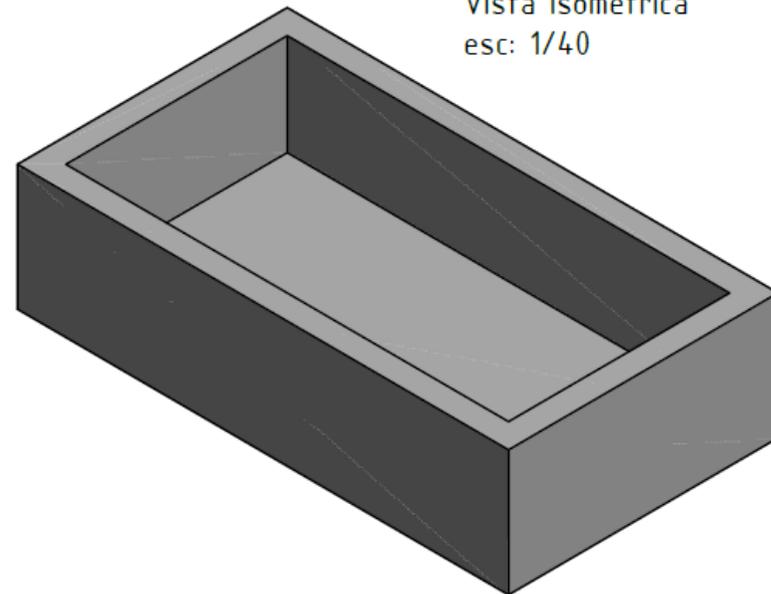
Vista de planta  
esc: 1/40



Vista lateral  
esc: 1/40



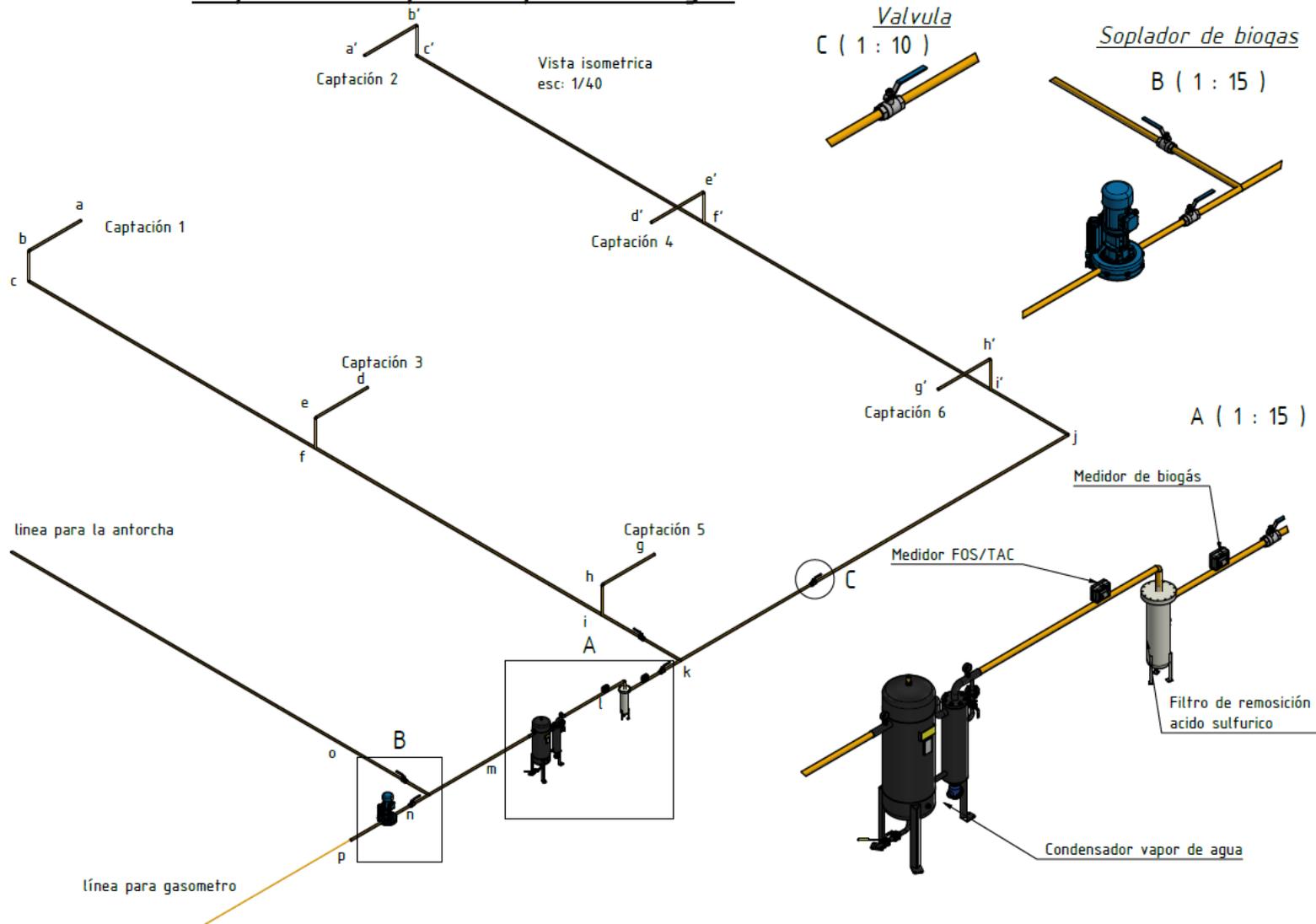
Vista isométrica  
esc: 1/40



Nota:

- \* Volumen útil para el biol es 18,91 m<sup>3</sup>
- \* El grosor de concreto esta contemplado de 0,3 m

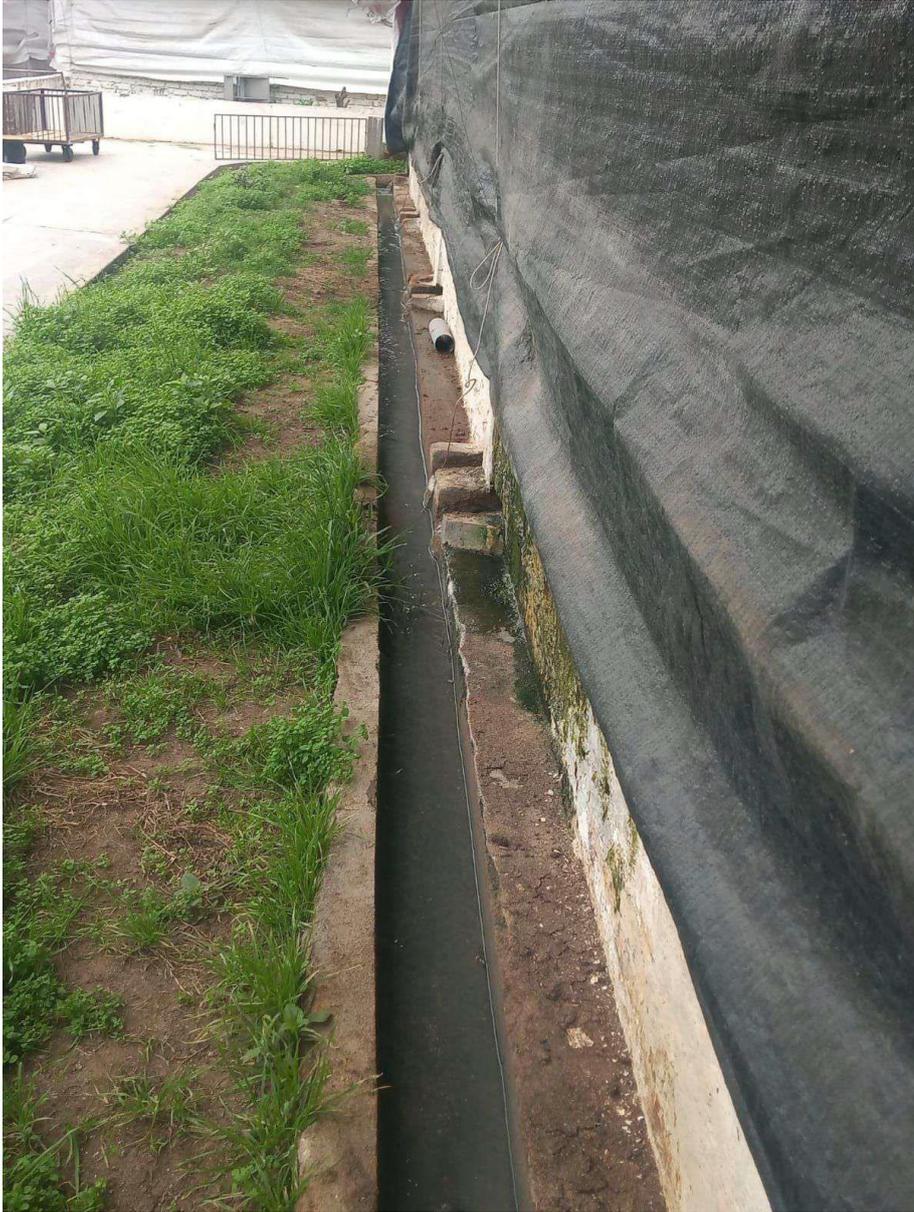
## Esquema de captación para el biogás



## **Anexo K**

### **Galería fotográfica**











## **Anexo L**

# **Cálculo de área de geomembrana**

Desarrollo del cálculo de la longitud del arco para la geomembrana de la cubierta de la laguna del biodigestor.

$$S(m) = \int_{0,12*\pi}^{\pi/2} \sqrt[2]{1 + (-0,058 * x)^2} dx$$

Integramos mediante funciones trigonométricas.

Del triángulo rectángulo.

$$\tan(\theta) = \frac{0,058 * x}{1}$$

$$x = \frac{\tan \theta}{0,058}$$

$$d(x) = \frac{\sec^2(\theta)}{0,058} d(\theta)$$

$$\sec \theta = \frac{\sqrt[2]{1 + (0,058 * x)^2}}{1}$$

Reemplacemos los valores:

$$S(m) = \int_0^{12} \sqrt[2]{1 + (-0,058 * x)^2} dx = \int_{0,12*\pi}^{\pi/2} \sec(\theta) * \frac{\sec(\theta)^2}{0,058} d(\theta)$$

$$S(m) = \int_{0,12*\pi}^{\pi/2} \frac{\sec^3(\theta)}{0,058} d(\theta)$$

Utilizaremos la integral por partes:

$$\int v * du = v * u - \int u * dv$$

$$u = \sec(\theta) \quad dv = \sec^2(\theta) d(\theta)$$

$$du = \sec(\theta) * \tan(\theta) d(\theta)$$

$$\int dv = \int \sec(\theta)^2 d(\theta)$$

$$v = \tan(\theta)$$

$$s = \frac{1}{0,058} \int_{0,12*\pi}^{\frac{\pi}{2}} \sec^2(\theta) * \sec(\theta) d(\theta)$$

$$= \sec(\theta) * \tan(\theta) - \int_{0,12*\pi}^{\frac{\pi}{2}} \tan(\theta)^2 * \sec(\theta) d(\theta)$$

$$s = \frac{1}{0,058} \int_{0,12*\pi}^{\frac{\pi}{2}} \sec(\theta)^3 d(\theta)$$

$$= \sec(\theta) * \tan(\theta) - \int_{0,12*\pi}^{\frac{\pi}{2}} (\sec(\theta)^2 - 1) * \sec(\theta) d(\theta)$$

$$s = \frac{1}{0,058} \int_{0,12*\pi}^{\frac{\pi}{2}} \sec(\theta)^3 d(\theta)$$

$$= \sec(\theta) * \tan(\theta) - \int_{0,12*\pi}^{\frac{\pi}{2}} (\sec(\theta)^3 - 1 * \sec(\theta)) d(\theta)$$

$$0,058 * s = \int_{0,12*\pi}^{\frac{\pi}{2}} \sec(\theta)^3 d(\theta)$$

$$= \sec(\theta) * \tan(\theta) - \int_{0,12*\pi}^{\frac{\pi}{2}} (\sec(\theta)^3 - 1 * \sec(\theta)) d(\theta)$$

$$0,058 * s = 2 * \int_{0,12*\pi}^{\frac{\pi}{2}} \sec(\theta)^3 d(\theta) = \sec(\theta) * \tan(\theta) + \ln(\sec(\theta) + \tan(\theta))$$

$$s = \int_{0,12*\pi}^{\frac{\pi}{2}} \sec(\theta)^3 d(\theta) = \frac{\sec(\theta) * \tan(\theta) + \ln(\sec(\theta) + \tan(\theta))}{2 * 0,058}$$

Regresamos a las coordenadas en función de X, Y:

$$s = \int_0^{7,44} \sqrt{1 + (-0,058 * x)^2} dx =$$

$$s = \frac{\sqrt{1 + (0,058 * x)^2} * 0,058 * x + \ln(\sqrt{1 + (0,058 * x)^2} + 0,058 * x)}{2 * 0,058}$$

Integramos.

$$s = \frac{0,4699 + 0,4187}{2 * 0,058} - 0$$

$$s = \frac{0,8886}{2 * 0,058} - 0 = 7,66 \text{ m}$$

2s, longitud del arco ABC:

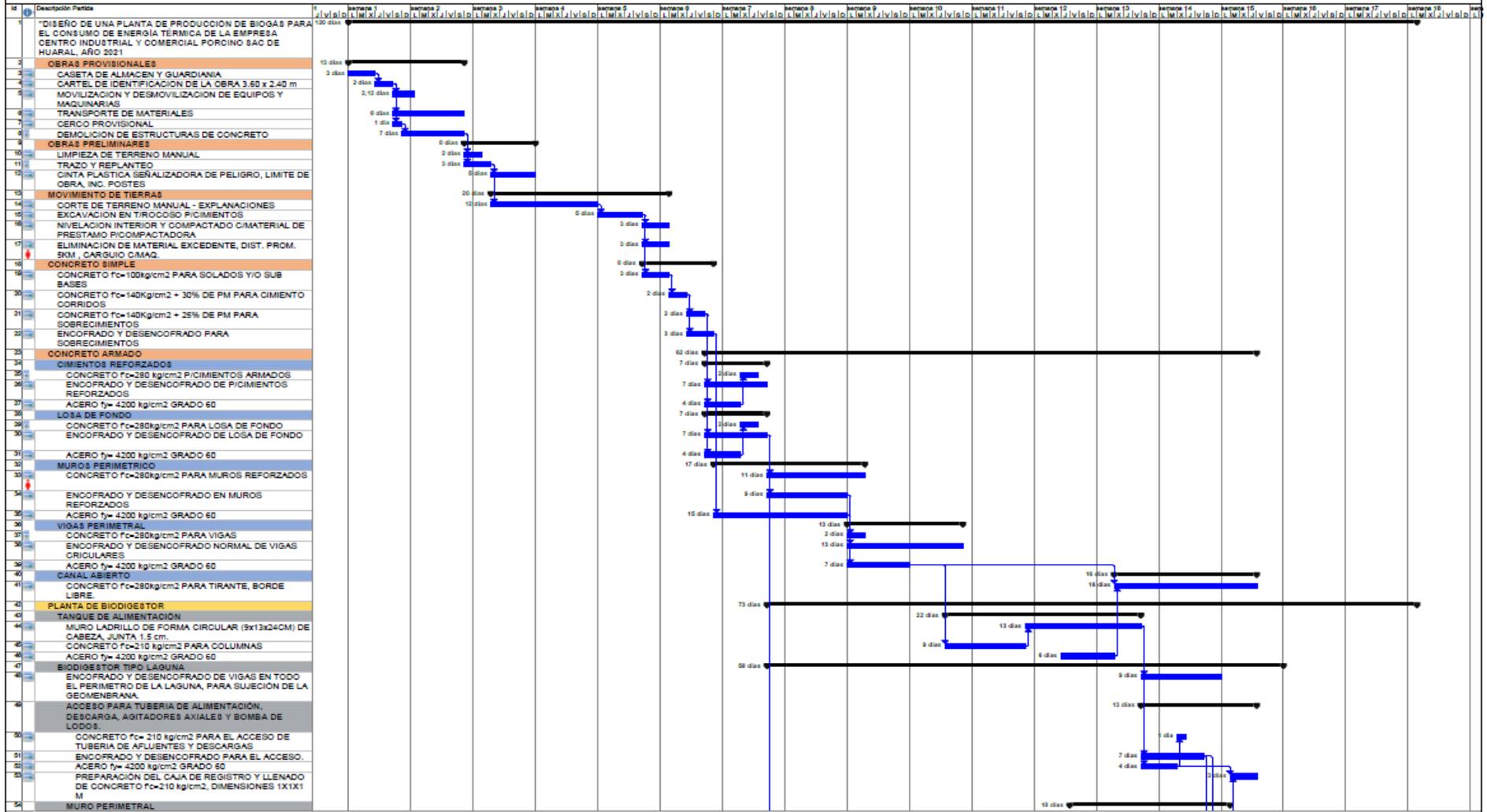
$$2 * s = 15,32$$

## **Anexo M**

# **Cronograma de ejecución de obra tentativo**

### "CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DE OBRA"

DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS PARA EL CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA DE LA EMPRESA CENTRO INDUSTRIAL Y COMERCIAL PORCINO SAC DE HUARAL, AÑO 2021



Proyecto: CRONOGRAMA DE EJECU Fecha: dom 10/01/2021

Tarea asumida	Tarea crítica	Tarea inactiva	Solo duración	Solo fin	Fecha límite
Hito asumido	Hito crítico	Hito inactivo	Informe de resumen manual	Tareas críticas	Resumen de proyecto
Progreso asumido	Progreso crítico	Progreso inactivo	Resumen manual	Duración crítica	Progreso
Agregado por el cliente	Agregado por el cliente	Agregado por el cliente	Solo el cambio	Progreso	Fecha límite

Página 1

### "CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DE OBRA"

DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS PARA EL CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA DE LA EMPRESA CENTRO INDUSTRIAL Y COMERCIAL PORCINO SAC DE HUARAL, AÑO 2021

